

# Vurdering av influens- område for grunnvann

"State of the art" rapport

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 966



**Tittel**

Vurdering av influens-  
område for grunnvann

**Undertittel**

"State of the art" rapport

**Forfatter**

Vasstein S.M., Fikse A.N., Lysen S.R., When  
S., Gylland A.S., Montafia A., Lausund I.

**Avdeling**

Vegutforming

**Seksjon**

Klima og geofag

**Prosjektnummer**

L10464

**Rapportnummer**

966

**Prosjektleder**

Heidi Kjennbakken

**Godkjent av**

Hanne Bratlie Ottesen

**Emneord**

Influensområde, grunnvann, grunnvanns-  
forhold, setningsskader, fuktkrevende natur,  
innlekkasje, tetthetskrav, tettekraft

**Sammendrag**

Rapporten oppsummerer dagens praksis for vurdering av influensområdet for grunnvann i vegprosjekter. Den bygger på en gjennomgang av gjeldende regelverk, veiledning, relevant litteratur og prosjekterfaring. Rapportens mål er å evaluere om dagens regelverk og veiledningsmateriale beskriver beste praksis for vurdering av grunnvannets influensområde. Det er viktig å forstå hvordan grunnvannsforhold påvirkes, der eksempelvis senket grunnvannsnivå og/eller poretrykk kan føre til setningsskader, skade fuktkrevende natur, påvirke brønner m. m.

**Title**

Assessing the groundwater influence zone

**Subtitle**

State of the art report

**Author**

Vasstein S.M., Fikse A.N., Lysen S.R., When  
S., Gylland A.S., Montafia A., Lausund I.

**Department**

Road Design

**Section**

Geotechnics and Climate Adaptation

**Project number**

L10464

**Report number**

966

**Project manager**

Heidi Kjennbakken

**Approved by**

Hanne Bratlie Ottesen

**Key words**

Groundwater, zone of influence, sealing  
requirements, water leakage

**Summary**

This report represents the current state of practice for assessing the groundwater influence zone in road projects. It is based on a review of existing regulations, guidance, relevant literature and project experience. The objective of the report is to evaluate whether the current regulations and guidance effectively describe best practices for assessing the groundwater influence zone. Understanding how groundwater conditions are impacted is important, as lowered levels can cause settlement damage, harm moisture-sensitive ecosystems, affect wells etc.



---

RAPPORT

# Avrop U279 - Influensområde grunnvann

---

OPPDRAKSGIVER

Statens vegvesen

EMNE

Vurdering av influensområde for grunnvann

DATO / REVISJON: 24. november 2023 / 00

DOKUMENTKODE: 10252829-RIGh-RAP-001

---



Multiconsult

Dette dokumentet har blitt utarbeidet av Multiconsult på vegne av Multiconsult Norge AS eller selskapets klient. Klientens rettigheter til dokumentet er gitt for den aktuelle oppdragsavtalen eller ved anmodning. Tredjeparter har ingen rettigheter til bruk av dokumentet (eller deler av det) uten skriftlig forhåndsgodkjenning fra Multiconsult. Enhver bruk av dokumentet (eller deler av det) til andre formål, på andre måter eller av andre personer eller enheter enn de som er godkjent skriftlig av Multiconsult, er forbudt, og Multiconsult påtar seg intet ansvar for slikt bruk. Deler av dokumentet kan være beskyttet av immaterielle rettigheter og/eller eiendomsrettigheter. Kopiering, distribusjon, endring, behandling eller annen bruk av dokumentet er ikke tillatt uten skriftlig forhåndssamtykke fra Multiconsult eller annen innehaver av slike rettigheter.

## RAPPORT

OPPDRAG	<b>Avrop U279 - Influensområde grunnvann</b>	DOKUMENTKODE	10252829-RIGh-RAP-001
EMNE	Vurdering av influensområde for grunnvann	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	<b>Statens vegvesen</b>	OPPDRAGSLEDER	Svein Ragnar Lysen
KONTAKTPERSON	Heidi Kjennbakken	UTARBEIDET AV	Silje Marie Vasstein/Andrea Nymo Fikse/Svein Ragnar Lysen/Sølvi Wehn/Anders S. Gylland/Alberto Montafia/Ingvild Lausund
KOORDINATER	Sone: Øst: Nord:	ANSVARLIG ENHET	10234012

### SAMMENDRAG

Statens vegvesen ønsker å oppdatere veiledningsmaterialet som omhandler vurdering av grunnvannets influensområde relatert til vegtiltak, f.eks. tunneller. Multiconsult Norge AS har i den forbindelse utført en gjennomgang og oppsummering av gjeldende regelverk og veiledninger for å etablere dagens status på temaet. Ut fra dette gis anbefalinger for videre utviklingsarbeid, utbedringer og oppdatering av gjeldende regelverk og veiledningsmateriale.

Generelt er det i dag et komplisert system å sette seg inn i med ulike krav, veiledninger og fagrapporter når det kommer til grunnvannets influensområde. Det oppfordres til tverrfaglig arbeid, men regelverk, normalene til SVV og veiledere, er oppbygd relativt enfaglig. Det foreligger mye god informasjon som kan benyttes i prosjekter, men dette ligger spredt og det tar tid å finne alle relevante krav for sitt fagområde.

Denne kontrasten mellom influensområdets svært tverrfaglige natur, og den en-fagligheten som systemene legger opp til, fremheves som et sentralt punkt å jobbe med videre. Det må gjøres et arbeid for å forene alle berørte fag for å oppnå en helhetlig forståelse av grunnvannets influenssone og konsekvenser av at den påvirkes gjennom utførelse av et prosjekt.

Videre er det tydelige føringer for krav til forundersøkelser i grunnvannets influensområde, og det legges opp til å gjøre faglige vurderinger rundt hvilke undersøkelser som bør gjøres. Men det er ikke gitt noen entydig prosedyre eller metode for hvordan influensområdet defineres. Her er det et potensiale for å etablere en metodikk som gir en mer enhetlig inngang i problemstillinga helt fra tidligfase.

I prosjektgjennomføringen virker det som om fokuset legges på registreringer og målinger av lekkasjer i tunnel, og mindre på eventuelle endringer i influensområdet. Dette er i kontrast til nyere forskning, som viser at det er lite samsvar mellom målt innlekkasje og faktiske endringer i grunnvann/poretrykk. Med utgangspunkt i dette anbefales det å få fokus også på kontinuerlig overvåkning av influensområdet i seg selv i anleggsfase, men også i driftsfase for å fange opp «forsinkede» konsekvenser som først fremkommer lang tid etter anleggsslutt.

Oppsummert så eksisterer det per i dag mye god kunnskap og regelverk knyttet til grunnvannets influensområde, men det er potensiale til forbedring ved å jobbe fram mer entydige definisjoner og krav, løfte fram tverrfagligheten i problemstillingen og implementere forskningsfunn.

00	24.11.2023		Silje Marie Vasstein/Andrea Nymo Fikse/Svein Ragnar Lysen/Sølvi Wehn/Anders S. Gylland/Alberto Montafia/Ingvild Lausund	Silje Marie Vasstein/Svein Ragnar Lysen/Sølvi Wehn/Anders Gylland/Alberto Montafia/Peder E. Helgason	Svein Ragnar Lysen
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Innledning .....</b>	<b>6</b>
1.1	Bakgrunn.....	6
1.2	Formål.....	6
1.3	Begrensninger.....	7
<b>2</b>	<b>Gjeldende regelverk og veiledningsmateriale .....</b>	<b>8</b>
2.1	Vegnormalene .....	8
2.1.1	N500.....	8
2.1.2	N200.....	9
2.1.3	Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering .....	10
2.2	Veiledningsmaterieell og rapporter .....	10
2.2.1	N-V521 Geologi og bergsikring i tunnel .....	10
2.2.2	Statens vegvesen, publikasjon nr. 103, Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø (Karlsruh m.fl. 2003).....	11
2.2.3	NS 3466 Miljøprogram og miljøoppfølgingsplan for ytre miljø for bygge- og anleggs- og eiendomsnæringen (Standard Norge 2009) .....	15
2.2.4	NFF-håndbok nr. 06 Praktisk berginjeksjon for underjordsanlegg .....	16
2.2.5	BegrensSkade I og II/Remedy (FoU-prosjekter) .....	17
2.2.6	NGF Byggegrupveiledningen.....	19
2.2.7	Statens vegvesens rapport nr. 423, Når vegen berører myra. God forvaltning av myr i vegplanlegging, bygging og drift (Aker og Johansen 2015) .....	20
2.2.8	Statens vegvesen veiledning Håndbok R211, Feltundersøkelser .....	20
2.2.9	Statens vegvesen veiledning Håndbok V221, Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger .....	20
2.2.10	Statens vegvesen veiledning Håndbok V271, Vegetasjon i veg- og gatemiljø .....	21
<b>3</b>	<b>Prosjektgjennomgang .....</b>	<b>21</b>
3.1	E16 Bjørum-Skaret .....	21
3.2	E18 Lysaker-Ramstadsletta .....	22
3.3	E18 Ytre ringvei .....	22
3.4	E39 Kristiansand-Mandal .....	23
3.5	E39 Sveгатjørn-Rådal .....	24
<b>4</b>	<b>Vurdering av dagens regelverk og veiledning opp mot eksisterende kunnskap og praksis .....</b>	<b>25</b>
4.1	Influensområde.....	27
4.2	Grunnundersøkelser .....	28
4.3	Vurdering av sårbare områder .....	29
4.3.1	Fuktkrevende natur .....	29
4.3.2	Setningsproblematikk .....	29
4.4	Teoretiske analyser og modellering .....	30
4.5	Innlekkasjekrav .....	31
4.6	Overvåkning og oppfølging .....	32
4.7	Avbøtende tiltak .....	33
4.8	Rapportering .....	34
4.9	Søknader til myndighet.....	34
<b>5</b>	<b>Mangler ved dagens Normaler, veiledningsmateriale og bransjepraksis .....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Oppsummering og konklusjon .....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Anbefalinger for videre arbeider .....</b>	<b>41</b>
7.1	Regelverk og veiledere.....	41
7.1.1	Publikasjon nr. 103.....	41
7.2	Prosjekter .....	42
7.2.1	Forskningsprosjekter.....	43
7.3	Tverrfaglig samarbeid .....	44
7.4	Influensområde.....	44
7.5	Grunnundersøkelser .....	45
7.6	Vurdering av sårbare områder.....	45
7.7	Teoretiske analyser og modellering .....	46
7.8	Innlekkasjekrav .....	46
7.9	Overvåkning og oppfølging .....	47
7.10	Avbøtende tiltak .....	47
7.11	Rapportering .....	47

7.12 Felles modellverktøy .....	48
<b>8 Referanser .....</b>	<b>49</b>

**Vedlegg**

Vedlegg 1	Oppsummering av krav til forundersøkelser mtp. hydrogeologi i N500
Vedlegg 2	Sammenstilling av informasjon fra prosjekter som er gjennomgått
Vedlegg 3	Sammenstilling av forbedringsforslag for regelverk og veiledere

## 1 Innledning

Staten vegvesen har jevnlig behov for å oppdatere veiledningsmateriale tilhørende sine vegnormaler. Nå vurderes det å oppdatere veiledningsmaterialet som omhandler vurdering av grunnvannets influensområde. Multiconsult Norge AS har i den forbindelse utført en gjennomgang av Statens vegvesen sitt gjeldende regelverk og veiledningsmateriale, Eurokode 7, relevante fagrapporter, Byggeprosjektveiledningen, relevante databaser, samt gjennomgang av fem ulike veg- og tunnelprosjekter oversendt fra Statens vegvesen.

Gjennomgangen oppsummeres med en vurdering av dagens regelverk og veiledning opp mot eksisterende kunnskap og praksis. Arbeidene anses som innledende undersøkelser for bedre å spesifisere nødvendig forskningsbasert utvikling innen emnet hydrogeologi og bestemmelse av influenssone. Foreliggende rapport beskriver således anbefalinger for videre arbeider/forskning med tanke på forbedring og potensiell standardisering av metode for fastsetting av influensområde, samt forslag til utbedringer og oppdatering av gjeldende regelverk og veiledningsmateriale.

Oppdraget er et direkte avrop (nr. U279) fra Statens vegvesen, Divisjon myndighet og regelverk, på rammeavtale for kjøp av rådgivertjenester innen planlegging og prosjektering (20/178396).

### 1.1 Bakgrunn

For tunneler skal influensområdet for grunnvann vurderes iht. vegnormalen N500 Vegtunneler (1). Iht. Vegnormal N200 (2) skal det vurderes setningspotensiale og områder med mulig grunnvannssenkning. Kommende versjon av Eurokode 7 (Second generation of Eurocode 7) setter i større grad krav til vurdering av grunnvannets influensområde. I tillegg er aktsomhetsplikten i Vannressursloven §5 (3) og Naturmangfoldlovens §6 (4) relevant.

Influensområdet for grunnvann er området rundt tiltaket hvor grunnvannstand og/eller poretrykk er forventet å bli midlertidig eller permanent påvirket. Det er viktig å vite hvordan vegtiltak påvirker omkringliggende grunnvannsforhold, ettersom senket grunnvannsnivå og poretrykk kan føre til setningsskader, skade på fuktkevende natur, skade på drikkevanns- og energibrønner, m.m. Videre kan det også oppstå skader som følge av økt grunnvannsnivå, eksempelvis ved oppstuvning oppstrøms tiltak som forårsaker redusert permeabilitet i grunnen.

En god fastsettelse av tiltakets/prosjektets influensområde for grunnvann er derfor viktig for å unngå uforutsette konsekvenser. Riktig prosjektering og utførelse av tiltak som kan påvirke grunnvann vil med det bidra til optimalisering av bl.a.:

- materialforbruk og redusert CO<sub>2</sub>-utslipp
- ivaretagelse av natur og miljø
- ivaretagelse av eksisterende bygg og infrastruktur

For vurdering av influensområdet har Statens vegvesen hovedsakelig henvist til Publikasjon nr. 103 Miljø- og samfunnstjenlige tunneler fra 2003 (5). Krav til definering av influensområdet for veg i dagen, byggeproser og bergskjæringer er kanskje mindre tydelig.

### 1.2 Formål

Formålet med arbeidet som beskrives i foreliggende rapport, er å vurdere om dagens regelverk og veiledningsmateriale beskriver *beste praksis* for vurdering av grunnvannets influensområde. Rapporten omfatter oppdatert kunnskap ut ifra tilgjengelig data, litteratur og prosjekterfaring. Det er ikke utført egne analyser i dette arbeidet.



Rapporten belyser hvordan veiledningsmateriell bør/kan oppdateres for best mulig fastsetting av influensområde ut fra dagens kunnskap. Rapporten vil danne grunnlag for videre arbeid mot en mer enhetlig tilnærming til definisjon og kartlegging av influensområde, oppdatering av regelverk, analyser og forskning.

Det er også vurdert om veiledningsmaterialet er dekkende i forbindelse med andre tiltak enn tunnel (f.eks. byggegrop og bergskjæringer), og avbøtende tiltak for å unngå skade (f.eks. installering av infiltrasjonsbrønner og infiltreringsprosedyre).

For hvert tema har vi vurdert følgende:

- Hva er godt dekket i eksisterende regelverk (Vegnormalene) når det gjelder påvirkning på grunnvann?
- Hva er godt dekket i veiledningsmaterialet når det gjelder påvirkning på grunnvann?
- Hva er godt dekket i gjennomføring av prosjekter?
  - Det er tatt utgangspunkt i fem store veiprojekter (se kap. 3).
- Hvor er det behov for forbedring/oppdatering/presisering når det gjelder påvirkning på grunnvann?
  - Foreligger det et tilstrekkelig kunnskapsnivå?
  - Er det behov for/mulig å forbedre veiledningen?
  - Er det behov for/mulig å klargjøre regelverket ytterligere?
- Er metodene og tilnærmingen som brukes i dag fornuftige (for kartlegging av påvirkning på grunnvann)?

### 1.3 Begrensninger

Kun gjeldende versjoner av Statens vegvesen sine vegnormaler og veiledninger er gjennomgått. Det er ikke gått tilbake til tidligere versjoner for å sammenligne med fagrapporter utarbeidet før siste versjon av vegnormal N200 og N500 inkl. veiledningsmateriell.

Ved gjennomgang av prosjekter har grunnlaget basert seg på hva Multiconsult har fått oversendt fra Statens vegvesen. Det kan dermed ikke utelukkes at det foreligger mer data i rapporter fra andre prosjekter enn det som er gjennomgått i foreliggende prosjekt. Noe av arbeidet med foreliggende rapport har derfor vært å etablere generelle prinsipper for utvelgelse av relevante prosjekter til empirisk vurdering av «beste praksis» i videre arbeider. Dette er sammen med forslag til spesifikke prosjekter, beskrevet i kap. 7.2. Videre er det noe utydelig i hvilke faser de ulike undersøkelsene er utført i de fem prosjektene som er gjennomgått. Hvorvidt utførte undersøkelser stemmer overens med krav relativt til planfase, er derfor ikke kommentert i foreliggende rapport, kun hva som faktisk er utført.

I gjennomgangen er det sett på tema tilknyttet grunnvannsnivå. Det er ikke sett på vurdering og betydning av endring i vann- og/eller geokjemi som følge av grunnvannspåvirkning.

## 2 Gjeldende regelverk og veiledningsmateriale

### 2.1 Vegnormalene

#### 2.1.1 N500

##### **Forundersøkelser**

I N500 beskrives det ulike krav til hvilke undersøkelser som *skal* utføres og hvordan dette rapporteres. Det skiller mellom krav til undersøkelser avhengig av planfase. I N500 skal kunnskapsnivået for hvert planfase-trinn, det vil si at fra forundersøkelser/tidlig planfase til konkurransegrunnlag, skal kompetansen og informasjon om området heves slik at det foreligger minimalt med usikkerheter og risikomomenter til byggestart (1).

Det stilles krav til geologiske forundersøkelser (kap. 2) og kartlegging av ytre miljø (kap. 3). I kapittel 2.1 står det under veiledning til kravet, at kartlegging suppleres av hydrogeologiske og geotekniske undersøkelser *ved behov* og henviser til V521. De hydrologiske og hydrogeologiske registreringene skal inkludere en vurdering av sårbarhet i flora og fauna iht. avsnitt 2.5. Kapittel 3 beskriver at relevante forhold ved ytre miljø skal kartlegges, og her henvises det til NS 3466. Det oppgis ikke eksakte verdier for akseptabel innlekkasje til tunnel, men at det skal etableres krav til begrensning av innlekkasje basert på poretrykkmålinger og tolkning av skadepotensiale, og at et influensområde skal fastsettes. Det oppgis at V521 gir en veiledning på hvordan geologiske vurderinger skal utføres (1).

Forundersøkelsene skal omfatte vurdering av arealer som påvirkes av tunnelen, dette gjelder fare for skadelig grunnvannssenkning, setninger, utslipp, etc. Det skal utføres kartlegging av områder som kan være vesentlige for kostnader og sikkerhet, og dermed gjennomførbarhet av skisserte tunnelstrekninger. Det er beskrevet krav til hydrogeologiske undersøkelser, og hydrogeologiske registreringer der dette er nødvendig. En oppsummering av krav til forundersøkelser i N500 er gitt i foreliggende rapport vedlegg 1. Iht. kap. 2.6 skal alle geologiske forundersøkelser være utført *før* godkjenning av reguleringsplan. Det kan bli utført ytterligere supplerende grunnundersøkelser for å bekrefte mengdeberegninger eller andre vesentlige forhold for byggeplan. Det kan i tillegg være aktuelt å justere planlagt omfang av kartlegging og overvåkning av omgivelsene (grunnvann og setningsfare) basert på de måleresultatene som foreligger (1).

I kap. 9 er det beskrevet at permanente drens-systemer skal dimensjoneres i henhold til forventet lekkasje og mulige endringer over tid. Det er ikke presisert hvorvidt det med «endringer over tid» implisitt siktes til en tunnels dimensjonerende varighet på 100 år, eller 50 år for vann- og frostsikring, eller endringer nærmere i tid og rom (1).

##### **Anleggsfase**

Kapittel 3 beskriver at det skal utarbeides en prosjektspesifikk plan for oppfølging av ytre miljø der håndtering av naturmangfold skal inkluderes, men det nevnes ikke fuktkrevende naturtyper spesifikt. Basert på denne planen skal det foretas en vurdering av hvilke registreringer og måleprogrammer som er nødvendige i de ulike fasene av prosjektet for å ivareta ytre miljø (bl.a. behov for registrering av grunnvannsnivå, målinger for dokumentasjon av vannlekkasjer i tunnel i forhold til fastsatte innlekkasjekrav etc.), og hvem som har ansvaret for å gjennomføre de ulike målingene. YM-plan skal gjelde for de ulike faser av prosjektet, herunder planlegging, prosjektering/utbygging og drift og vedlikehold (1).

### **Overvåkning**

Tunneler skal ha dimensjonerende brukstid på 100 år og vann- og frostsikring skal ha brukstid på 50 år. Det stilles ingen krav til overvåkning av fuktkrevende naturtyper i etterkant av anleggsfasen, men i kapittel 3 beskrives det at *om man finner dette relevant*, skal grunnvannsnivå registreres gjennom prosjektets ulike faser, som da også omfatter *drift* (1)

### **Rapportering**

Iht. N500 anbefales det å lagre geo-rapporter i Statens vegvesens *Rapportweb*, og at rapporter fra grunnboringer m.m. lagres i NADAG (1). Det er ikke stilt krav om registrering av hydrogeologisk data som eksempelvis borelogg fra brønnetablering i GRANADA, eller av funn som omhandler sårbarhet i flora og fauna (eller fuktkrevende naturtyper).

Forundersøkelser skal sammenfattes i en geologisk rapport, inkludert hydrogeologiske forhold. Deriblant hvilke områder som krever spesielle tiltak, f.eks. svakhetssoner, og forslag til plan for videre forundersøkelser. Det skal utarbeides geologisk rapport for reguleringsplan. Det står spesifikke krav til hva faktadelen i geologisk rapport for reguleringsplan skal inneholde. I veiledning til kravet står det at det skal henvises til fagrapporten for boredata med registreringer fra egne brønner for poretrykk og grunnvannsstand. Hydrogeologiske vurderinger skal beskrives i rapportens tolkningsdel. Videre i henvisning til kravet om rapportering, står det at dersom det er utført egen hydrologisk/hydrogeologisk undersøkelse, inkluderes det et sammendrag i geologisk rapport hvor det vises respektive fagrapport. Videre står det at tolkningsdelen i geologisk rapport til reguleringsplan skal inneholde omtale av hydrogeologiske forhold, eventuelle brønner og vannmagasiner, vurdering av sannsynlighet for å få vann som skaper driveproblemer, anbefaling om maksimal innlekkasje for å unngå skadelig poretrykksendring og vurdering av omfang av injeksjonsarbeider. Det står videre en del veiledning til kravet om hva de hydrogeologiske tolkningene skal inneholde, deriblant krav til rapportering av innlekkasje i form av enten tabeller eller visualisering på kart og hvorvidt krav til begrensning av vannlekkasjer er bestemt på grunn av naturmiljø, fare for skadelige setninger og/eller forringelse av drikkevannskilder. Det presiseres at usikkerheter skal beskrives i rapportens tolkningsdel, eksempelvis usikkerheter tilknyttet potensiell innlekkasje (1).

Det er krav om å utarbeide ingeniørgeologisk sluttrapport, hvor bl.a. utført injeksjon m.m. beskrives. Sluttrapport skal inngå i tunnelens sikkerhetsdokumentasjon (1).

## **2.1.2 N200**

### **Forundersøkelser**

Avsnitt 1.6 *geologiske forundersøkelser* beskriver at fare for grunnvanns-senkning skal vurderes, og at rapporter til reguleringsplan og byggeplan skal vurdere effekter på ytre miljø. Basert på denne vurderingen skal man som beskrevet i avsnitt 1.11, vurdere og dokumentere hvorvidt inngrep i myr og våtmark er mulig å unngå, f.eks. ved justering av veglinja. N200 omhandler ikke en vurdering av mulig utstrekning av influensområde mtp. påvirkning på grunnvannsnivå og dertil fuktkrevende naturtyper (2).

### **Anleggsfase**

Basert på geologiske forundersøkelser skal det lages en rigg- og marksikringsplan iht. veiledning gitt i V271 (Vegetasjon i veg- og gatemiljø) (6). I avsnitt 1.11.4 *Bygging på myr og annen våtmark*, stilles det krav om å vise særlige hensyn ved bygging på myr og annen våtmark (fuktkrevende naturtyper). Det vises til veiledning gitt i V221 (Grunnforsterkning, fyllinger og skrånninger) og Statens vegvesens rapport nr. 423 (*Når vegen berører myra. God forvaltning av myr i vegplanlegging, bygging og drift*).

Ved inngrep i myr eller annen våtmark, stilles det krav om at følgende skal oppnås i prioritert rekkefølge: 1) Unngå endring i grunnvannsstanden, 2) Sikre at minst mulig areal blir drenert, bl.a. ved å vurdere vannstrømmen, 3) Sikre at vannbalansen i våtmarka blir minst mulig berørt ved å iverksette avbøtende tiltak.

### **Sluttrapportering**

Avsnitt 1.11 beskriver at midlertidige anleggsplasser skal restaureres tilbake til opprinnelig natur. For myr er det presisert at myrmasse fra myra skal brukes til å restaurere samme myr (2). Det står ikke beskrevet at man skal gjøre en vurdering basert på forundersøkelsene, om hvorvidt myra *kan* restaureres tilbake til opprinnelig tilstand og naturmangfold. Det står heller ikke beskrevet at man skal dokumentere utførte avbøtende tiltak eller restaurering i en sluttrapport.

### **Overvåkning**

Det står ikke beskrevet at man skal overvåke effekten av utbygging, eventuelle avbøtende tiltak eller restaurering etter endt anleggsfase.

## **2.1.3 Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering**

Eurokode 7 har et klart fokus på tiltak og tilhørende bruks- og bruddgrensetilstand for strukturer/bygg. Men i høringsutkast til ny Eurokode 7 er det et krav at prosjektets influensområde skal defineres. Utstrekning av influensområdet skal bl.a. inneholde en vurdering av tiltakets påvirkning på alle relevante hydrauliske og hydrogeologiske effekter. Videre er det formulert at influensområde bør ta høyde for miljøpåvirkninger og forurensning (7).

Det er et krav at grunnundersøkelser skal gjøres innenfor hele influensområdet og at undersøkelsen skal omfatte både lagdeling/materialer og grunnvannsforhold. Videre er det formulert at der man forventer at tiltaket kan påvirke grunnvannsforhold i anlegg- og permanentfase, så bør man ha plan for monitorering (7).

Forventet påvirkning på grunnvannsforhold i anleggsfase kan baseres på beregninger med best-estimate-parametere, eller basert på ingeniørmessig skjønn (7).

## **2.2 Veiledningsmaterieell og rapporter**

- Hvilke faktorer er godt dekket i eksisterende veiledere når det gjelder påvirkning på grunnvann:
  - Type tiltak: tunnel, byggegroper, bergskjæringer, osv.
  - Setningsproblematikk
  - Påvirkning på eksisterende brønner
  - Påvirkning fuktkrevende natur
- Hvilke faktorer er godt dekket når det gjelder påvirkning på grunnvann
- Hvilke faktorer som trenger forbedring/oppdatering når det gjelder påvirkning på grunnvann
- Er metodene og tilnærmingen som brukes i dag fornuftig (for kartlegging av påvirkning på grunnvann)?

### **2.2.1 N-V521 Geologi og bergsikring i tunnel**

Denne veilederen gir utfyllende veiledning til krav i vegnormal N500 Vegtunneler. Veilederen gir gode føringer for hvilke undersøkelser som skal utføres, og angir oppdatert informasjon mtp.

undersøkelsesmetoder. Den gir veiledning i hvordan man kan vurdere innlekkasje til tunnelanlegg, informasjon om bergmassens hydrauliske ledningsevne basert på sprekker (8), men angir ikke hvordan influensområde kan fastsettes.

### **Forundersøkelser**

Den viser til at natur som er «varige kilder til innlekkasje» skal vies særskilt oppmerksomhet i forbindelse med hydrogeologiske registreringer, og beskriver at man skal definere og tegne inn nedbørsfelt i kart og profiler for foreslåtte tunneltraseer. Veilederen viser videre til publikasjon nr. 103 for hvordan vurdere konsekvenser ved grunnvannstands- og poretrykksendring for naturmiljø. Veilederen foreslår at vann, bekker og myrområder skal inkluderes i en 3D-modell som kan inkludere influensområder. Det er ikke angitt spesifikke tall/utstrekning på influensområder. Veilederen nevner heller ikke andre fuktkrevende naturtyper. Vannstand i vann og myrer skal registreres kontinuerlig i tidlig planfase for å kunne begrense innlekkasje / definere krav til tetthet. Det står at man skal definere krav til tetthet, men dette skal vurderes basert på de steds spesifikke forholdene ved omgivelsene i hvert enkelt prosjekt. Veilederen viser videre til beskrivelser gitt i Publikasjon nr. 103 (8).

### **Anleggsfase**

Om de geologiske forholdene tilsier at berget må forsterkes, beskrives det i denne veilederen hvordan. Det beskrives krav til måling av innlekkasje, både på stuff og ved hjelp av måleteriskler (8). Denne veilederen beskriver ikke om eller hvordan man underveis i anleggsfasen eventuelt skal overvåke vannstand eller tilstand i fuktkrevende natur.

### **Overvåkning**

Det står ikke beskrevet hvordan man skal overvåke eventuelle skader på fuktkrevende natur i driftsperioden av tunnelen.

### **Sluttrapportering**

I veilederne står det at injeksjonserfaringer og oppnådd tetthet hører med i ingeniørgeologisk sluttrapport (8). Det står ikke beskrevet at man skal dokumentere evt. tiltak for å redusere risiko ifm. fuktkrevende natur.

### **Overvåkning**

Det står ikke beskrevet hvordan man skal overvåke eventuelle skader på fuktkrevende natur i driftsperioden av tunnelen.

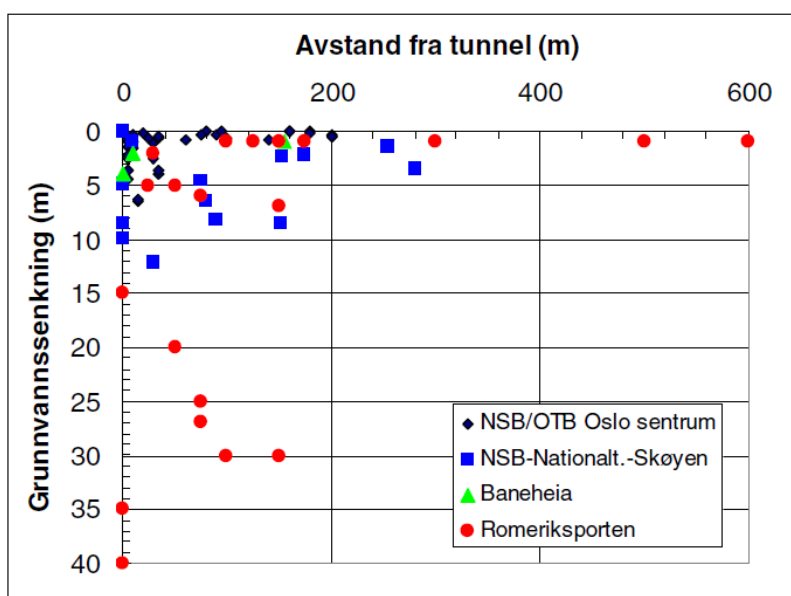
## **2.2.2 Statens vegvesen, publikasjon nr. 103, Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø (Karlsrud m.fl. 2003)**

Publikasjonen omhandler i hovedsak vurderinger av konsekvenser ved grunnvannstands- og poretrykksendring for naturmiljø og urbanområder. Publikasjonen gir erfaringstall på mulige influensområder, men dette er ikke hovedformålet til publikasjonen. Den gir også et eksempel på mulig inndeling av sårbarhetsklasser avhengig av størrelsen på nedbørsfelt, og foreslår formelsett for beregning av innlekkasje til tunnel ved hjelp av en forenklet tilnærming (5). Publikasjonen gir kun implisitte føringer for fastsettelse av influensradius, men ingen prosedyrer for dette. Publikasjonen angir derimot prosedyrer for fastsettelse av lekkasjekrav i henholdsvis naturområder og urbane områder. Sistnevnte gjelder for mektige marine avsetninger i Oslo-regionen (5), og er ikke nødvendigvis relevant for fastsettelse av lekkasjekrav for andre urbane områder.

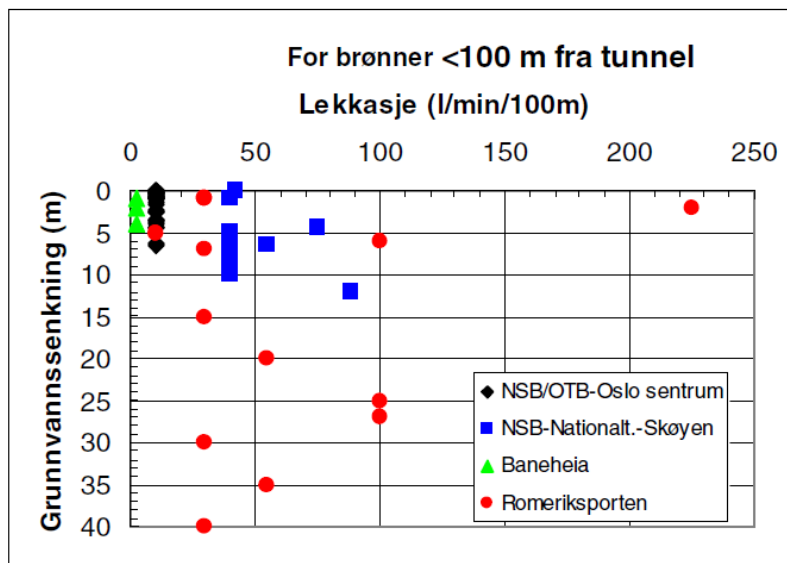
### Teori

Publikasjonene angir teori tilknyttet vannbalanse, metoder for å måle lagringskapasitet, hydraulisk ledningsevne samt forskjell mellom poretrykk og grunnvannsnivå og hvordan dette kan tolkes opp mot registrert nedbør i et område (5). Videre gis det en innføring i generell strømming rundt tunnelanlegg i berg og hvordan man kan beregne strømming i berg mellom parallelle flater og kanaler ved hjelp av Darcy's lov. Det er også vist til forenklede ligninger utarbeidet av Karlsrud for å beregne strømningsrater rundt tunnelkroppen, både med og uten tettings skjerm. Det gjennomgås ulike typer modellering og hvilke styrker/svakheter disse innehar, og hvilke modeller som bør velges avhengig av bergets oppsprekkingsmønster (5). Modellberegninger utført som en del av rapport nr. 103 bekrefter at både lekkasjenivå og potensiale for endring av grunnvannsspeilet øker med økende tunneldybde, gitt at man har oppnådd samme hydrauliske konduktivitet ved tetting omkring tunnelen (5). Ved økt tunneldybde øker også innlekkasjemengde, noe som er naturlig gitt større vanntrykk jo dypere tunnelen ligger i terrenget.

Det er gitt erfaringstall og sammenstilling vedrørende observert grunnvannssenkning i forbindelse med fire ulike tunnelprosjekter, som viser at forventet grunnvannssenkning avtar med avstanden fra tunnelen. Videre gis det en sammenstilling av grunnvannssenkning og lekkasjenivå inntil 100 m unna tunnelene (5). Se Figur 2-1 og Figur 2-2. Denne sammenstillingen av erfaringsdata blir benyttet i bransjen til å definere influensområder for tunnelprosjekter.



Figur 2-1: Sammenstilling av observert grunnvannssenkning i relasjon til avstand fra tunnel (5).



Figur 2-2: Sammenheng mellom grunnvannssenkning og lekkasje i tunnelene (5).

### Forundersøkelser

Publikasjon nr. 103 definerer ikke en fast akseptgrense for alle tunneller, men beskriver hvordan man skal vurdere stedsspesifikke akseptgrenser. For å fastsette lekkasjekrav (akseptgrenser for lekkasje), må man gjennomføre sårbarhetsanalyser, risikoanalyser, verdsette sårbare naturtype-lokaliteter og definere akseptabel konsekvens, dvs. tallfeste akseptabel endring i grunnvann / vannføring / vannspeil. Deretter, basert på alle disse vurderingene, skal man tallfeste akseptabel tunnellekkasje. Om man ser at det er høy risiko forbundet med tunellbyggingen, skal man enten gjennomføre avbøtende tiltak eller så skal man legge om tunnelen (5).

I publikasjonen drøftes både direkte og indirekte påvirkninger på fuktgivende naturtyper. Det vises til at fare for påvirkning og derfor også konkrete akseptgrenser for lekkasje, er vanskelig å kvantifisere da kunnskapsgrunnlaget er meget begrenset (5). Det mangler detaljert kartlegging av naturmiljøer generelt, og det lille som er gjort, er ikke basert på et tilstrekkelig tidsperspektiv da det ikke er kartlagt både før og etter at en tunnel er bygget. Videre er ikke hydrologiske og geologiske forhold som kan påvirke, eller er grunnleggende faktorer for de kartlagte fuktgivende naturtypene, vurdert i sammenheng med tilstand i de fuktighetsgivende naturtypene. Det er imidlertid behov for å vurdere slike sammenhenger for hvert anlegg.

For å vurdere sårbarhet og risiko må man ha kunnskap om faktorer som beskriver det hydrologiske kretsløpet: vannbalanse, infiltrasjon, grunnvannstand og poretykk, samt naturlig variasjon over tid. Publikasjon nr. 103 beskriver metoder for å modellere hydrogeologi og innlekkasje basert på geologisk kunnskap, og viser erfaringstall på grunnvannssenkning i forbindelse med ett sett utbygging av tunnelanlegg (5). Tallene som beskrives nærmere i rapport av Løset og Karlsrud (9), antyder at influensområdet for grunnvann kan være opp til 300 m. Dette er basert på registrert sammenheng mellom lekkasjenivået i tunnelene og påfølgende grunnvannssenkning i brønner nærmere tunnelen enn 100 m, mens det ikke var registrert grunnvannssenkning i avstand mer enn 300 m fra tunnelene. Videre tolkes tallene til at innlekkasje på 10 l/min/100 m, vil forårsake under 5 m grunnvannssenkningen, og i beste fall ingen, men at tallene variere mye fra sted til sted. For fuktighetsgivende naturtyper som myr, vil en grunnvannssenkning på 5 m kunne være katastrofal. I videre diskusjon om setningsømfintlighet i urbane områder som følge av registrert poretrykksfall relatert til målt innlekkasje, er det basert på innsamlet data fra flere tunnelanlegg under bygging, vist

## Vurdering av influensområde for grunnvann

til ulike intervall; eksempelvis ved en poretryksreduksjon på 1-3 m kan nedre grense for akseptabel innlekkasje være 7 l/min/100m. Publikasjon nr. 103 opplyser at disse dataene er nærmere beskrevet i Karlsrud (1987, 1990) og NGI (1998).

For å vurdere potensiale for setninger som følge av tunnelanlegget, beskriver publikasjon nr. 103 at man må starte med en grundig kartlegging av løsmasser langs traseen, og undersøkelsene bør som utgangspunkt dekke hele det potensielle influensområdet, dvs. normalt ut til en avstand av flere 100 m til hver side av traseen (Figur 2-3). Dette kan være en omfattende oppgave, men i urbane områder har man som regel en del grunnundersøkelser fra før samt at det foreligger gode geologiske kart.

Ved vurdering av tetthetskrav i urbanområder må det utføres en del grunnundersøkelser og laboratorieforsøk. De aktuelle undersøkelsesmetodene er refraksjonseismikk, totalsonderinger, dreietrykksondering, trykksondering (CPTU), poretryksmålinger og prøveserier med 54 mm og 95 mm som underkastes laboratorieundersøkelser.

Rapporten beskriver ikke undersøkelser som skal gjennomføres i senere faser.

### **Metoder**

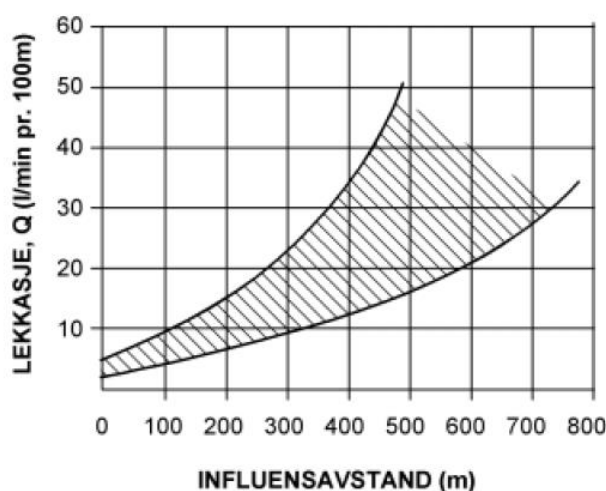
For virkning på vannkilder er det for vannforsyning ved både overflatevann og fra brønner beskrevet metoder for å vurdere sannsynligheten for påvirkning, og mulig effekt av en tunnellekkasje.

For vurdering av sårbare områder er det gitt en beskrivelse av klassifisering av sårbare naturtyper som er grunnvannsavhengige (vann, tjern, myrer og sumppegete naturtyper) etter hvor mye tilgjengelig overflatevann som drenerer til området, dvs. størrelsen på nedbørsfeltet til det aktuelle området. De sårbare naturtypene kan således klassifiseres i sårbarhetsklasser etter størrelsen på respektive nedbørsfelt. Erfaringsgrunnlaget for dette er begrenset, men det er tatt utgangspunkt i nedbørsfeltklasser med paralleller til kjent lekkasje og skade ved bygging av Romeriksporten. Fra dette er det gitt sårbarhetsklasse svært sårbar for nedbørsfelt med areal opp til 0,5 km<sup>2</sup>. Nedbørsfelt med størrelse opp til 2 km<sup>2</sup> settes til midlere sårbarhetsklasse og stort nedbørsfelt (antar større enn 2 km<sup>2</sup>) danner laveste sårbarhetsklasse. Publikasjon nr. 103 understreker at det trengs både mer omfattende feltvalidering og forskning på effekter av grunnvannssenkning i ulik skala, og ikke minst en bedre forståelse av ulike naturtypers grunnvannsavhengighet (5). I prosedyre for arbeid med å bestemme innlekkasjekrav mtp. naturtyper, beskrives at man må definere hva som finnes innenfor tunnelens influensområde som kan tenkes påvirket. Utover sammenstilling av erfaringsdata mtp. grunnvannspåvirkning, er det ikke gitt noen metode for hvordan influensradius bestemmes.

I prosedyre for å bestemme krav til innlekkasje skal så langt som mulig, akseptert endring i grunnvannsnivå, vannspeil og/eller vannføring tallfestes (eller konkretiser). Videre skal akseptert innlekkasje i tunnel tallfestes for aktuell tunnallengde, så vel som behovet for å unngå store punktlekkasjer.

I publikasjon nr. 103 er det anslått typisk utbredelse av tunnelens influensområde i urbane områder, altså hvor langt ut til siden man kan forvente poretryksreduksjon i bunn av dyprenner sett i forhold til lekkasjenivået i tunnelanlegget (5). Sammenstilling av data har blitt konsentrert om tunnelanlegg som berører marine leiravsetninger (Østlandet, derav Oslo-regionen). Sammenstillingen viser influensavstand opptil ca. 800 m unna tunnelen, og at reduksjonen avtar typisk 2 m per 100 m. Se Figur 2-3. Det er gitt en prosedyre for å fastsette tetthetskrav i urbanområder. I tillegg til prosedyren eller som et alternativ til prosedyren, kan setninger og skadeomfang anslås basert på ulike scenarier for innlekkasje i tunnelen, avhengig av tettemfang, som igjen kan gi et godt grunnlag for å vurdere tettekostnader mot skadekostnader.





Figur 2-3: Influensavstand i relasjon til lekkasjenivå, gjelder for poretrykksreduksjon i områder med marine leiravsetninger og dyppenner, da i hovedsak fra Oslo-regionen (5).

### **Anleggsfase / Sluttrapportering / Overvåkning**

Rapporten beskriver ikke undersøkelser som skal gjennomføres i senere faser.

### **Tiltak**

I rapport nr. 103 beskrives det at systematisk forinjeksjon er det tiltaket som er mest attraktivt for å begrense lekkasjer i tunnel, og at oppnådd tetthet ved injeksjon avhenger av hvilke injeksjonsmasser som brukes i kombinasjon med selve injeksjonsteknikken. Det bemerkes at en av de viktigste forutsetninger for å oppnå et godt injeksjonsresultat er at det bores systematiske skjermene med tett hullavstand, og at skjermene må ha god overlapp, og at det injiseres med høyt trykk (50-70 bar), og i enkelte tilfeller enda høyere trykk (5).

Grunnvannstrykk (eller tunnelens dybde under grunnvannsspeilet) kan være en vesentlig medvirkende årsak til setningsproblematikk, og ikke bare mangelfull forinjeksjon.

Videre beskriver rapport nr. 103 at for dyptliggende tunneler (dypere enn ca. 50-100 m) kan det ikke forventes å oppnå lekkasjeverdier ved forinjeksjon som ligger helt ned på nivå med de laveste akseptgrensene (ned mot 1-3 l/min per 100 m i urbanområder). Selv om det oppnås en lav permeabilitet i injisert sone, så vil forventet lekkasje være 7-14 l/min per 100 m for en tunnel i 100-200 m dybde. For å oppnå tilstrekkelige tettekrav for dype tunneler beskrives mulige tiltak som å etablere vanntett betongutføring på utsatte strekninger, legge opp til permanent vanninfiltrasjon for å kompensere for lekkasje og/eller omfundamentere utsatte bygninger til peler på berg før tunnelarbeider starter (5). Det beskrives også at kostnader til tettingstiltak vil kunne bli urimelige store sett i forhold til skadekostnad, avhengig av antall bygninger i det aktuelle området (5).

### **2.2.3 NS 3466 Miljøprogram og miljøoppfølgingsplan for ytre miljø for bygge- og anleggs- og eiendomsnæringen (Standard Norge 2009)**

Denne standarden er utarbeidet av næringen, forskere og interesseorganisasjoner for å gi en mal for utarbeidelse og bruk av miljøprogram og miljøoppfølgingsplaner for et prosjekt.

Standarden beskriver at miljøprogrammet skal inneholde vurderinger av virkning på naturmiljø. Naturmiljø inkluderer både naturområder og lokalklima, hvor lokalklima er bl.a. fuktighet. Videre skal man i miljøprogrammet beskrive miljømål, samt tiltak for å nå disse målene.

Miljøoppfølgingsplanen skal inkludere beskrivelser av tiltak som skal ivareta miljømålene, hvordan vurdere måloppnåelsen og hvordan miljømålene følges opp. Eksempelvis skal miljøoppfølgingsplanen beskrive hvordan og hvor ofte miljøparametere skal måles og dokumenteres/rapporteres. Standarden gir ikke detaljerte beskrivelser av miljømål, tiltak eller hvilke miljøparametere som skal følges opp (10).

#### 2.2.4 NFF-håndbok nr. 06 Praktisk berginjeksjon for underjordsanlegg

Hovedformålet med NFF håndbok nr. 6 er å gi veiledninger til praktisk utførelse av berginjeksjon for underjordsanlegg. Med tanke på influenssone henviser håndboken til erfaringstall funnet i prosjektet «Miljø- og samfunnstjenlige tunneler», og presenterer data som er presentert i foregående kapittel.

I kapittel 17.2 presenteres sammenhengen mellom innlekkasje i tunnel og poretrykksreduksjon i tilknytning til dyprenner, basert på erfaringstall fra uspesifiserte tunneler i Oslo-området. I samme tabell er maksimal influensavstand oppgitt til 1000 m (11), uten at det er beskrevet hvordan influensavstanden er vurdert eller skal tolkes.

Tabell 2-1 Sammenheng mellom innlekkasje i tunnel,  $q$ , og påvirkning på poretrykk i dyprenner rett over tunneler, basert på erfaringer fra tunneler i Oslo-området (11).

Lekkasje, $q$ (l/min/100 m)	Poretrykksreduksjon ved berg $\Delta u_f$ (m)	Maksimal influensavstand (m)
< 1	0	0
1 - 3	0 - 2	0 - 200
3 - 5	2 - 4	100 - 400
5 - 10	4 - 6	200 - 600
10 - 20	6 - 8	300 - 800
20 - 40	8 - 10	400 - 1000
> 40	10	>500 - 1000

Tabell 8 Sammenheng mellom innlekkasje i tunnel,  $q$ , og påvirkning på poretrykk i dyprenne rett over tunnelen,  $\Delta u_f$ , basert på erfaringer fra tunneler i Oslo-området.

Kapittel 14.2 beskriver hvilke faktorer som skal vurderes ved fastsetting av innlekkasjekrav:

- Anleggets formål
- Anleggets plassering
- Anleggets overdekning og størrelse
- Lekkasjekonsekvenser - økonomiske og miljømessige (inkludert omdømme)
- Sikkerhetsmessige forhold
- Permanent og midlertidig funksjonskrav
- Økonomi

Det blir ikke gitt veiledning i hvordan faktorene skal vurderes ved fastsetting av innlekkasjekrav. Tabell 2 viser eksempel på sammenhengen mellom funksjonskrav og tillatt innlekkasje. I dag er det ikke uvanlig å stille enda strengere krav enn 5 l/min/100 meter, men dette var ikke vanlig praksis da håndboken ble publisert i 2010.

## Vurdering av influensområde for grunnvann

Tabell 2-2 Eksempler på innlekkasjekrav (11).

Tabell 6 Eksempler på typiske innlekkasjekrav

	Strengt krav	Middels krav	Moderate krav
Tillatt innlekkasje	5 l/min/100meter	10 l/min/100meter	20 l/min/100meter
Funksjonskrav	Sensitive omgivelser	Moderat sensitiv	Anleggsavhengig

Kapittel 14.7 beskriver forholdet mellom funksjonskrav og injeksjonsstrategi, vist i Tabell 2-3. I tillegg skal levetidsbetraktninger og driftskostnader vurderes.

Tabell 2-3 Forhold mellom krav til tetthet og injeksjonsstrategi (11).

Tabell 7: Forhold som har betydning for beslutning av injeksjonsstrategi

Type anlegg	Krav til tetthet	Omgivelser	Omfang av injeksjon	Injeksjonsmiddel	Alternativ/supplement
Kraftverks tunneler	Ikke tap av vann som gir økonomiske driftskonsekvenser	Grunnvannsendring	Sporadisk (behovsprøvd)	Sementer	Utforing, (stål, betong)
Samferdsels-tunneler					
\tettbebygde strøk	Unngå skade på omgivelsene	Grunnvannsenkning og setninger	Systematisk injeksjon	Sementer	Avskjerming, drenering, vannfiltrasjon
	Vannisproblemer i tunnel			Kjemiske midler	Vanntett utstøpning
\undersjøiske	Pumpekapasitet/økonomi	Uavhengig	Ut fra systematisk sonderboring	Sementer	
	Vannisproblemer i tunnel			Kjemiske midler	Avskjerming, drenering, Vanntett utstøpning
\øvrige	Vannisproblemer i tunnel Krav i drivefasen	Grunnvannsenkning	Etter sonderboring i på forhånd kartlagte soner	Sementer	
Oljegasslagre	Gasstett, hindre forurensning	Forurensning	Etter sonderboring	Sementer	
	Driftskostnader			Kjemiske midler	Vannfiltrasjon
Varelagre	Avhengig av type lager	Grunnvannsenkning, setninger	Avhengig av type lager og varer	Sementer	Avskjerming, drenering
				Kjemiske midler	

### 2.2.5 BegrensSkade I og II/Remedy (FoU-prosjekter)

BegrensSkade er et bransjeomfattende forskningsprosjekt som har som mål å heve kompetanse, og minske risiko for skader, i forbindelse med grunn- og fundamenteringsarbeider. BegrensSkade ble avsluttet i 2016. I forlengelsen av prosjektet ble det gjennomført et prosjekt kalt BergensSkade II / Remedy med prosjektperiode 2017-2022.

Prosjektene fokuserer på byggeprop som case og lister opp flere tekniske løsninger som kan betraktes som «best practice» for å minimere risiko for skader på bebyggelse nært byggepropa. Flere av disse løsningene ser på hvordan man kan unngå å påvirke grunnvannstand utenfor byggepropa. Det konkluderes med at i de tilfellene hvor det er størst setninger utenfor og i størst avstand fra byggepropa, så er det relatert til lekkasje av grunnvann inn i byggepropa. Prosjektet

## Vurdering av influensområde for grunnvann

løfter også fram organisatoriske forhold som samhandling og risikovurderinger som sentrale for å minimere skader.

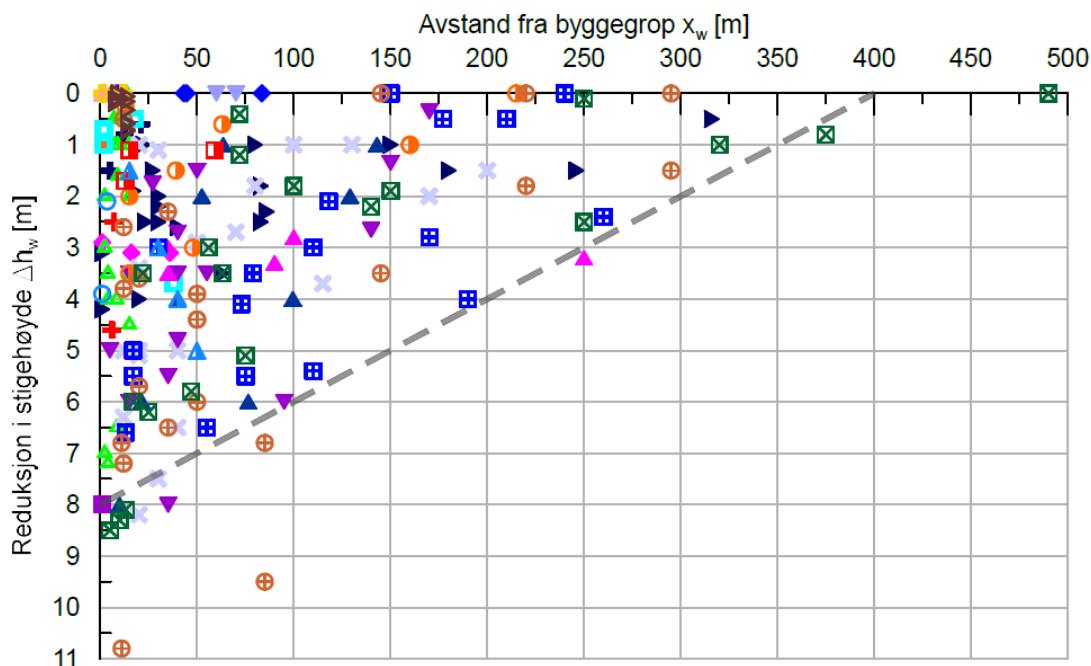
Det er et hovedfokus på kostnadskonsekvenser og ulemper for naboer, og i mindre grad forhold knyttet til naturmangfold el.

Prosjektet har jobbet fram et GIS-verktøy som ved input av geotekniske og hydrogeologiske parametere, kan estimere risiko for bygningsskader som følge av drenasje til byggegrop og tunnel. Verktøyet er fritt tilgjengelig: [https://github.com/norwegian-geotechnical-institute/remedy\\_gis\\_risktool](https://github.com/norwegian-geotechnical-institute/remedy_gis_risktool)

Hydrogeologisk kompetanse løftes fram som et aspekt som ikke er nok involvert ved planlegging og prosjektering av byggegrop. Og som en følge av dette utføres det ofte ikke nok forundersøkelser av grunnvannstrømning og poretrykk. Videre anbefales det lovendringer ved at store byggegrop, og potensialet for påvirkning på grunnvann, underlegges krav om konsekvensutredning. Det anbefales også endringer i vannressursloven slik at det stilles kompetansekrav til alle som kan påvirke grunnvannet.

Remedy-prosjektet har sammenstilt og analysert en stor mengde data fra et stort utvalg byggeprosjekter. Deler av dette ble vist fram på NGF seminar – Byggegropsikring og støttekonstruksjoner oktober 2023, hvor en endelig publikasjon av arbeidet planlegges i en journalartikkel i 2024. Datasettet belyser bl.a. målte setninger som en funksjon av avstand til byggegrop og parametere som oppstøttingshøyde, avstivningsmetode og sikkerhetsfaktor. Videre gis det en oversikt over målt endring i poretrykk som funksjon av avstand til byggegrop. Denne figuren er gjengitt her i Figur 4 sammen med en anbefaling: «*Basert på en tilsynelatende øvre grense anbefales det for praktiske vurderinger, at man antar at poretrykksreduksjon avtar med ca. 2 m pr 100 m avstand fra byggegropa. Dette vil gjøre det enkelt å estimere aktuell influenssone for en byggegrop basert på utgravingsdybde under stighøyden i den lukkede akviferen (og hvor stor andel av dette man forventer å redusere poretrykket) samt grunnforhold for øvrig.*». Antatt poretrykksreduksjon relativt avstand fra byggegrop tilsvarer den samme antagelsen som i Publikasjon nr.103, slik som beskrevet i foreliggende rapport's kap. 2.2.2, under avsnitt for metode.

Det noteres også at svært liten vannlekkasje skal til for å få en reduksjon i poretrykk, uten at det tallfestes.



Figur 4 Målt reduksjon i stighøyde for grunnvann rett over permeabelt lag som funksjon av avstand til byggegrop (figur fra presentasjon av T. Sandene (NGI) Poretrykksreduksjon og setninger som følge av byggegropsarbeider, NGF – Byggegropsikring og støttestruksjoner oktober 2023.

Det samme arbeidet viser med empiriske data at tiltak mot grunnvannsenkning, som vanninfiltrasjon og berginjeksjon, har en klar effekt. Datasettet viser også klart at byggegrop med innvendig avstivning og ingen drenasjeveger til berg (som borede ankere og peler) har minst innvirkning på poretrykksendringer.

Ut fra dette trekkes noen klare anbefalinger:

- Grunnvannsforhold må kartlegges tidlig, med fokus på overgangen mot vannførende lag, slik at man har null-situasjonen før anleggsfasen starter
- Der hvor vanninfiltrasjon kan bli aktuelt må det planlegges og klargjøres for dette tidlig i prosjektet. Spesielt i urbane strøk tar det tid å finne gode lokasjoner som ikke er i konflikt med annen infrastruktur, samt å innhente tillatelse til å benytte disse lokasjonene. Det blir for sent om man ser behovet i anleggsfase å starte dette arbeidet da.
- Det bør i prosjektets tidlige fase vurderes om man kan redusere utgravingsdybde slik at man unngår utvendige, borede løsninger for oppstøtting.

### 2.2.6 NGF Byggegropveiledningen

Byggegropveiledningen gir føringer for geoteknisk prosjektering av byggegrop. Den fokuserer i hovedsak på tekniske løsninger og dimensjonering av disse, bl.a. tetting av spunt, tetting av berg og overgang til berg, vanninfiltrasjon mm. Formålet er rettet mot design som minimerer risiko for fysiske konsekvenser på nabobygg, men påvirkning på miljø trekkes også fram og vektlegges like mye som en konsekvens av at man forholder seg til PBL og Vannressursloven (12).

Veiledningen gir overordnede føringer for hva en hydrogeologisk kartlegging bør omfatte og noen generelle tips for måling av poretrykk og setninger for kontroll av utførelse (12).

### **2.2.7 Statens vegvesens rapport nr. 423, Når veien berører myra. God forvaltning av myr i vegplanlegging, bygging og drift (Aker og Johansen 2015)**

Denne rapporten beskriver hvordan myr er blitt påvirket etter veibygging. Det er lite kunnskap på hvordan best mulig å gjennomføre tiltak for å bevare myras funksjon i de tilfeller veiutbygging berører denne naturtypen. I rapporten foreslår man noen tiltak for å begrense skaden en veiutbygging har på myr i influensområdet rundt veikroppen. Rapporten definerer ikke et konkret areal / avstand fra veikroppen som influensområde, men forfatterne viser til at man bør inkludere en buffersone rundt veikroppen for å ta høyde for kanteffekter på vannhusholdning og vegetasjon. Rapporten poengterer viktigheten av for- og etterundersøkelser i forbindelse med veiutbygging (13).

### **2.2.8 Statens vegvesen veiledning Håndbok R211, Feltundersøkelser**

Denne håndboken beskrives å omfatte metodebeskrivelser for feltundersøkelser som utføres i eller for Statens vegvesen, og gir en samlet beskrivelse av metodene til praktisk bruk ved siden av gjeldende standarder og til avklaring der standardene gir valgmuligheter (14).

Håndboken gjennomgår geotekniske og geologiske undersøkelser. Flere av undersøkelsene som beskrives kan enten direkte eller indirekte brukes for vurdering av hydrogeologiske forhold. Håndboken gir beskrivelse av hvordan grunnvannsnivå og poretrykk kan måles i felt. Det er også gitt et eget vedlegg for grunnvannsbegreper (14).

Det er i forbindelse med setningskontroll av bygg nevnt at influensområdet må bestemmes, at verneverdige naturtyper må kartfestes i influensområdet, at kvartærgeologiske kart bør vise alle brønner i prosjektområdet som grunnlag for mer detaljerte undersøkelser i influensområdet og registrering av influensområdet til bekker og elver som drenerer gjennom marine avsetninger må finnes. Utover dette henvises det til V220 for beskrivelse av pumpetester for å kartlegge de reelle vannveiene i undergrunner (14).

Det er ikke gitt noen beskrivelser for hvordan influensområder kan kartlegges, men det er angitt at resultat fra kvartærgeologiske og geotekniske undersøkelser må være detaljerte nok til å få frem variasjoner med tanke på hydraulisk konduktivitet, vise nedbørsfelt og resultat fra eventuelle pumpetester. Videre henvises det til Håndbok V220 for grunnleggende fagstoff (14).

I avsnitt for registrering av grunnvannsnivå/poretrykk er det ikke presisert at disse skal registreres i Granada (14).

### **2.2.9 Statens vegvesen veiledning Håndbok V221, Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger**

Denne håndboka beskrives å skal være et praktisk hjelpemiddel og bidra til å sikre en god og enhetlig geoteknisk saksbehandling i Statens vegvesen, dvs. den henvender seg først og fremst til etatens medarbeidere, men også til prosjekterende utøver når vei skal bygges (15).

Håndboka beskriver at hensyn må tas ifm. influenssonen rundt konstruksjonen, og at influensradien avhenger av grunnvannstilstand og jordas egenskaper (15).

Veilederen diskuterer lite problematikk rundt fuktkrevende naturtyper, men gir eksempler på konstruksjoner med den hensikt å unngå inngrep i myr, som myrbru og anleggsveg direkte på torv / myr. Rapporten diskuterer ikke i hvor stor grad de forslåtte anlegg virkelig begrenser skade på fuktkrevende natur, i hvor stor grad de hindrer påvirkning av grunnvannet, eller om de begrenser influenssonens utstrekning (15).

### 2.2.10 Statens vegvesen veiledning Håndbok V271, Vegetasjon i veg- og gatemiljø

Denne håndboken har som mål å være veiledende for planlegging og bygging og ved etablering av skjøtsel av grøntanlegg. Drift- og vedlikehold er ikke omhandlet.

Håndboken presiserer at man bare unntaksvis skal gjøre inngrep i myr og at man skal minimere drenering og dertil endring av vannstand i myr. Håndboken beskriver at rigg og marksikringsplanen (RM-plan) skal vise den eksisterende vegetasjonen som skal bevares eller gjenskapes (6).

Håndboken omhandler ikke temaet influenssone.

## 3 Prosjektgjennomgang

I forbindelse med dette arbeidet er fagrapporter fra ulike tunnelprosjekter gjennomgått. Et kort sammendrag er inkludert i kapittel 3.1 – 3.5 hvor vedlegg 2 gir ytterligere detaljer rundt vurderinger som er gjort i prosjektene. Det er i hovedsak rapporter oversendt av Statens vegvesen som er gjennomgått. Antall rapporter som er oversendt per prosjekt varierer i stor grad (fra én til 18), som har gjort det vanskelig å få oversikt over hva som er utført av grunnundersøkelser og vurderinger i flere av prosjektene.

Prosjektgjennomgangen har fokusert mest på tunnel, da de fleste prosjekter oversendt fra Statens vegvesen har omhandlet tunnelprosjekter. Det er derfor ikke sammenlignet med krav gitt i N200 for de ulike prosjektene oversendt fra Statens vegvesen.

### 3.1 E16 Bjørum-Skaret

E16 Bjørum-Skaret inngår som del av utbyggingen av en sammenhengende firefelts motorveg mellom Sandvika og Hønefoss. Prosjektet går fra Bjørum i Bærum kommune til Skaret i Hole kommune (16). Den totale strekningen er 8,4 km og inkluderer to tunneler, Sollihøgdatunnelen (ca. 3,4 km lang) og Bukkesteinshøgdatunnelen (ca. 750 m lang), og flere høye bergskjæringer (17). Byggestart for prosjektet var i 2021, planlagt ferdigstillelse i 2025 (16).

Den nye veistrekningen går delvis langs eksisterende vei samt forbi drikkevannsbrønner og to kommunale vannverk. Tunnelen går hovedsakelig gjennom ulike lavastrømmer av rombeporfyr, men krysser også de sedimentære lagene som ligger mellom lavastrømmene og spredte gangbergarter av diabas og syenitt. Helt sør i prosjektområdet består berggrunnen av skifer og kalkstein. I området er det marine avsetninger med varierende mektighet, tynt torvdekke og elve- og bekkeavsetninger. I tillegg er det noen partier med fjell i dagen og forvitningsmateriale (17).

Det er utført en rekke grunnundersøkelser, inkludert grovhullsboringer, geofysisk borehullslogging, vanntapsmålinger, manuelle og automatiske målinger av grunnvannsstand i bergbrønner og vannstand i overflatevann samt kjemisk analyse av vannprøver. Det fremkommer ikke informasjon om vannstandsmåling i myrer eller annen fuktkevende natur. Fra oktober 2019 var det komplett overvåkning av alle observasjonspunkt (17).

Det er også utført hydrogeologisk modellering og denne har blitt brukt til å definere influensområdet. Kartlegging av overflatevann og myrer innenfor influensområdet er utført, og er sammen med informasjon fra kjerneborehull, svakhetssoner, observasjoner av grunnvannsstand og kritiske områder samt resultater fra hydrogeologisk modellering (17), styrende for fastsettelse av innlekkasjekrav. Det strengeste kravet er på 5 l/min per 100 m. Det er ikke kjent om setningsømfintlige områder er kartlagt og om innlekkasjekrav hensyntar dette. Oppfølging av innlekkasjekrav og eventuelle avbøtende tiltak er ikke beskrevet i grunnlaget som er gjennomgått, med unntak av at overvåkningsprogrammet for grunnvann skal videreføres i regi av Statens vegvesen og deres rådgiver i anleggsfasen.

### 3.2 E18 Lysaker-Ramstadsletta

E18 Lysaker-Ramstadsletta inngår som en del av E18 Vestkorridoren, som er en 17 km lang ny hovedvei mellom Lysaker i Bærum og Drengsrud i Asker (18). Den totale strekningen for E18 Lysaker-Ramstadsletta er 4,4 km og inkluderer Gjønnestunnelen (1,7 km lang) og Høviktunnelen (1,65 km lang) (19). Byggestart for prosjektet var i 2020. Planlagt ferdigstillelse for hele prosjektet E18 Vestkorridoren er i 2029/2030 (20).

De nye veistrekningene går gjennom tett bebyggelse bestående hovedsakelig av eneboliger, rekkehus og boligblokker samt noen større industri-/kontorbygg uten registreringer av fuktkrevende naturtyper. Høviktunnelen vil krysse under Holtekiltunnelen som inneholder rør for overvann, spillvann og vannforsyning til Fornebu. Gjønnestunnelen vil gå mellom Høviktunnelen og Holtekiltunnelen. Gjønnestunnelen vil også krysse Bærumstunnelen og en VEAS-tunnel. Tunnelene vil hovedsakelig gå gjennom leirskifer, leirskifer med kalksteinsknoller og -lag samt knollekalk. Leirskiferen og knollekalken gjennomskjæres av et stort antall eruptivganger. Området ligger under marin grense og det er registrert flere dyprenner der løsmassene generelt består av et mindre lag fyllmasse og/eller tørrskorpeleire over meget bløt siltig leire til berg. Leira er stedvis kvikk (19).

Grunnundersøkelser ble utført i perioden 2013 til 2018 og inkluderer trykksonderinger, prøveserier, ødometerforsøk, vanntapsmålinger i infiltrasjonsbrønner, InSAR og etablering av poretrykksmålere (19).

Influensområdet er definert ved bruk av erfaringstall fra SVVs rapport nr. 103 samt en vurdering av områdets geologi. Det er tilsynelatende ikke utført empiriske beregninger for å definere influensområdet. Ettersom løsmassene består av marine avsetninger, er setningsproblematikk styrende for fastsettelse av innlekkasjekrav (19). Metoden for vurdering og fastsettelse av innlekkasjekrav er ikke kjent. Innlekkasje følges opp ved omfattende og systematisk forinjeksjon med kontrollhull samt tett oppfølging under anleggsarbeidene (21). Vanninfiltrasjonsbrønner er installert som avbøtende tiltak. For overvåking under anleggsarbeidene er det etablert poretrykksmålere som inngår i et fjernovervåkingssystem med varslings- og alarmnivåer. Det er ukentlig oppfølging av poretrykksmålerne (22).

### 3.3 E18 Ytre ringvei

E18 Ytre ringvei er en ca. 10 km lang vei som skal gå fra Vige til Grauthelleren i Kristiansand kommune. Veien vil hovedsakelig gå i tunnel (23). Prosjektet er i reguleringsplanfasen og byggestart og ferdigstillelse av prosjektet er uavklart (24).

Den planlagte veistrekningen krysser delvis eksisterende bebyggelse og delvis uberørte naturområder. Tunnelene vil gå gjennom prekambriske bergarter som granitt og gneis. I heiområdene er det typisk berg i dagen eller et tynt torvdekke, mens det i dalsøkkene er morene samt enkelte partier med torv og myr. I flattliggende områder er det marine avsetninger, elv- og breelvavsetninger og urmasser. Det er kvikkleire i flere områder (23).

Det er utført en rekke undersøkelser i reguleringsplanfasen og tidligere, inkludert boring av hammerborhull, kjerneborhull og løsmassebrønner, borkaksprøver, vanntapsmålinger, geofysisk borhullslogging, akustisk profilering, refraksjonsseismikk, elektrisk resistivitet, totalsonderinger, trykksonderinger, prøvetaking av løsmasser, etablering av poretrykksmålere, ingeniørgeologisk feltkartlegging og innmåling av berg i dagen. Det er også utført pumpepuster i brønner samt installert grunnvannslogger i brønner og vannstandsmålere i tjern (23) (25) (26). Kort-tids pumpepust ble utført i to bergbrønner der det ble pumpet med konstant rate på 9,6 l/min og 24 l/min i henholdsvis 64 min (til brønnen ble pumpet tørr) og 270 min. Det ble også utført lang-tids pumpepust i én bergbrønn for å kartlegge utstrekningen av influensområdet og grunnvannssenkning i ulik avstand fra



brønnen testen ble utført i. Det ble pumpet opp vann med en tilnærmet konstant rate på ca. 11,7 l/min i 72 timer. Senkningskurvene fra pumpetestene er så analysert med Cooper-Jacob's metode, da den gir en indikasjon på permeabiliteten i berget. Fra kort-tids pumpetestene er beregnet tidlig hydraulisk ledningsevne på  $10^{-7}$  m/s, mens beregnet sen konduktivitet er på  $10^{-9}$  m/s og  $10^{-7}$  m/s. Ved lang-tids pumpetesten er beregnet hydraulisk ledningsevne på  $10^{-7}$  m/s (23). Resultater fra pumpetestene ble videre benyttet i vurdering av utstrekning av influensområde og behov for innlekkasjekrav (se mer om dette i kapitler 4.3.2 og 4.5).

Influensområdet er definert ved bruk av erfaringstall fra SVVs rapport nr. 103 generelt for tunnelen samt at influensområdet er utvidet langs markante svakhetssoner. Det er utført kartlegging av sårbare områder, vannforekomster og fuktrevende naturtyper samt setningsømfintlige områder, som alle er styrende for vurdering og fastsettelse av innlekkasjekrav (23) (26) (27). Det er utført empiriske beregninger for fastsettelse av innlekkasjekrav med en antagelse om at 10% påvirkning er akseptabelt. Avhengig av innlekkasjekrav anbefales det systematisk forinjeksjon og behovsprøvd forinjeksjon med systematisk sonderboring foran stuff samt etterinjeksjon i svært sårbare områder. Oppfølging av innlekkasje i byggetid er ikke vurdert. Det anbefales at det etableres vanninfiltrasjonsbrønner i forkant av byggestart som avbøtende tiltak, og at overvåkningsprogrammet for grunnvann utvides. Det anbefales at overvåkning av grunnvannsstand, poretrykk, vannstand i tjern og setninger bør pågå minimum 1 år inn i driftsfasen (23).

### 3.4 E39 Kristiansand-Mandal

E39 Kristiansand-Mandal er en 19 km lang veistrekning fra Fidjane i Kristiansand kommune til Døle bru i Lindesnes kommune (28). Veistrekningen inkluderer tunnelene Mjåvannsheitunnelen (ca. 350 m lang) (29), Lindelitunnelen (ca. 550 m lang) (30), Søgnetunnelen (ca. 4 km lang) (31), Bruliheitunnelen (ca. 910 m lang) (32) og Vollebergstunnelen (ca. 610 m lang) (33). Byggestart for prosjektet var i 2018 med ferdigstillelse i 2022 (28).

Veistrekningen går gjennom kupert terreng med mye berg i dagen og tversgående myrfylte dalsøkk samt noen bebygde områder. Tunnelene går igjennom ulike varianter av gneis. I tillegg finnes det i noen områder middelskornet kalifeltspat- og kvartsrik granitt samt grovkornet pegmatitt. Det er hovedsakelig et tynt humus- og torvdekke samt en del små og store myrområder. Stedvis er det sandrike breelvasetninger over marine avsetninger (leire eller kvikkleire) med varierende mektighet. Morene forekommer også (29) (30) (31) (32) (33).

Det er utført en rekke undersøkelser, inkludert ingeniørgeologisk feltkartlegging, befaring, totalsonderinger, enkle sonderinger, prøvetaking av løsmasser (for undersøkelse av glødetap, vanninnhold, kornfordeling, frissvellingstest av leirmateriale) og berg, kjerneboring, droneflyvning, grunnvannsmålinger, elektrisk resistivitet og georadar (34). Det ble installert grunnvannsløggere i bergbrønner ved Søgnetunnelen, Lindelitunnelen, Bruliheitunnelen og Vollebergstunnelen fra noen uker opptil ett snaut år før byggestart (29) (30) (31) (32) (33).

Det er utført kartlegging av sårbare natur- og vannforekomster innenfor et influensområde (35), men utstrekningen av influensområdet fremkommer ikke. Det forekommer ikke setningsømfintlige områder og sårbar natur er derfor styrende for fastsettelse av innlekkasjekrav. Det er utført empiriske beregninger for fastsettelse av innlekkasjekrav med en antagelse om at 10% påvirkning er akseptabelt. Det ble anbefalt behovsprøvd eller systematisk forinjeksjon. Innlekkasje ble målt ved registrering av vannlekkasje i sonderhull på stuff. Det ble også målt akkumulerte vannmengder ved å måle utpumpede mengder på stuff etter pause i driving uten tilførsel av driftsvann. Utført tetting og grunnvannsmålinger er rapportert i ingeniørgeologiske sluttrapporter (29) (30) (31) (32) (33).

### 3.5 E39 Sveгатjørn-Rådal

E39 Sveгатjørn-Rådal er en 17,7 km lang veistrekning fra Sveгатjørn i Os til Rådalen i Bergen. 14,7 km av veistrekningen går i tunnel, inkludert Lyshorntunellen (9,3 km lang), Skogafjellstunellen (1,5 km lang), Lyshorntunellen (1,7 km lang) og Råtunellen (2,2 km lang). Byggestart for prosjektet var i 2016 med ferdigstillelse i 2022 (36).

Veistrekningen krysser delvis uberørt natur og delvis tett bebyggelse samt et vannverk med tilhørende infrastruktur. Bergartene i traséen varierer mye der det i nord er størkningsbergarter, gabbro og anortositt, mens det lenger sør er sedimentære bergarter som veksler (37). Det er lite løsmasser langs tunneltraséen da det stort sett er berg i dagen med myrer, tynne moreneavsetninger og skredmateriale. Myrene har varierende mektighet med de største tykkelsene i lokale forsenkninger (37).

Det ble utført grunnundersøkelser fram mot 2014, inkludert hydrogeologisk befarings, boring av bergbrønner, løsmassebrønner og myrbrønner, grunnvanns- og temperaturmålinger og korttids pumpe-test.

Basert på sprekkesoner og empiriske beregninger av sårbarhetsindeks er det definert et antatt influensområde hvor det er utført kartlegging av sårbare naturtyper som myrområder og vegetasjon som er grunnvannsavhengig samt forekomst av overflatevann. Det er gjort en vurdering av hvor stor grunnvannssenkning i cm våtmark/myrområder kan tåle og dette er førende for fastsettelse av innlekkasjekrav. Hvor stor innlekkasje som er akseptabelt, er vurdert for hvert enkelt nedbørsfelt. I senere vurderinger er det også benyttet erfaringstall fra rapport nr. 103.

Innlekkasje i tunnel skulle måles ukentlig eller etter nærmere vurdering ut fra lekkasje på stuff samt for hver 100 m ved større lekkasjer. I tillegg skulle det etableres målepunkt ved påhugg og bli tatt månedlige vannprøver ved driftsstans. Det ble stilt krav om å fortsette grunnvannsovervåkingen 2-3 år etter ferdigstillelse. Det er usikkerhet knyttet til hvordan tetting og måling av innlekkasje faktisk har blitt fulgt opp.

Av mottatt grunnlag, er det kun oversendt én statusrapport til byggemøte for overvåking av vannkvalitet i resipientene (grunnvann og overflatevann). Multiconsult i Bergen har hatt oppdrag med å utføre overvåking av grunnvann og miljø for E39 Sveгатjørn – Rådal, og er derfor kjent med at det er utarbeidet flere statusrapporter, årsrapporter og sluttrapporter i perioden 2015-2023. Overvåking av grunnvann har blitt utført i brønner angitt av Statens vegvesen. Overvåkingen har omfattet kontinuerlig logging samt vannprøvetaking. Overvåkingen innebar undersøkelser og rapportering, og ble delt inn i tre ulike faser: fase 1 før anleggsstart (ikke av Multiconsult), fase 2 i løpet av anleggsperioden og fase 3 etter at anleggsperioden var over. Multiconsult kan informere om at det foreligger komplette Excel-ark med måledata fra E39 Sveгатjørn – Rådal som er oversendt Byggherre. Det er ikke gjennomgått resultater fra overvåkingen i forbindelse med foreliggende rapport.

## 4 Vurdering av dagens regelverk og veiledning opp mot eksisterende kunnskap og praksis

Som beskrevet i kapittel 3, er tilgjengelige fagrapporter fra fem tunnelprosjekter gjennomgått i forbindelse med dette arbeidet. Se kapittel 3 for en kort beskrivelse av prosjektene samt vedlegg 2 for mer detaljer rundt respektive vurderinger. Grunnlaget er videre sammenlignet med krav gitt i vegnormal N500 Vegtunneler i tabell 4-1 (1). Hva som er utført og i hvilken grad det er utført, er angitt med følgende bokstaver og fargekoder:

X	Utført
Y	Vurdert, men ikke aktuelt
Z	Delvis utført
Æ	Antatt utført, men fremkommer ikke/ikke detaljert beskrevet i tilgjengelig grunnlag
?	Ikke kjent og det er usikkert om det er utført

Videre er det i kapitlene 0 – **Error! Reference source not found.** beskrevet hvordan dagens praksis er sammenlignet med regelverk og veiledningsmaterieell for ulike temaer. Det er vanskelig å finne informasjon om i hvilken planfase av prosjektene undersøkelsene er utført, og det er av den grunn ikke gjort en vurdering av hvorvidt undersøkelsene er utført i riktig planfase, kun hvorvidt de er utført eller ikke.

Tabell 4-1: Aktuelle krav i N500 sammenlignet mot det som er utført i prosjektene som er gjennomgått.

Henvvisning i N500	Aktuelle tema mtp. geologi, hydrogeologi og økologi	E18 LR	E18 YRK	E39 KrM	E39 SR	E16 BS
Kap. 2.1	Innhenting relevant informasjon om grunnforhold langs traseen (arkivert materiale, faglitteratur, feltkartlegging, erfaringer fra nærliggende prosjekter/områder, boringer, geofysiske undersøkelser.	X	X	X	X	X
Kap. 2.1 og 2.4	Vurdering av arealer som påvirkes av tunnelen mtp. skadelig grunnvannssenkning	X	X	X	X	X
	Vurdere arealer som påvirkes av tunnelen mtp. setninger	X	X	X	Z	?
	Vurdere arealer som påvirkes av tunnelen mtp. miljøskadelig avrenning	?	?	?	?	?
Kap. 2.1	3D-modell med informasjon fra geologiske forundersøkelser og informasjon	X	X	X	?	X
Kap. 2.2	Kartgrunnlag (innhold av elver, bekker og vann, dybdekoter der vann ligger nær traseen)	X	X	X	X	X
	Geologisk 3D-modell	X	X	X	?	X
Kap. 2.4.	Innsamling og vurdering av eksisterende informasjon (NGU, fagartikler, brønndatabase, etc.), tidligere utførte undersøkelser.	X	X	X	X	X
	Geologisk informasjon fra eventuelle nærliggende anlegg eller eksisterende tunneler.	X	X	Y	X	X
	Lineamentsanalyse	X	X	X	X	X
Kap. 2.5.	Kartlegging av løsmasser og berg i dagen, svakhetssoner og strukturetninger i berget	X	X	X	X	X
	Felt- og grunnundersøkelser	X	X	X	X	X
	Bergmassen:					
	<i>Bergarter og bergartsgrenser</i>	X	X	X	X	X

## Vurdering av influensområde for grunnvann

Henvisning i N500	Aktuelle tema mtp. geologi, hydrogeologi og økologi	E18	E18	E39	E39	E16
		LR	YRK	KrM	SR	BS
	<i>Lagdeling og foliasjon</i>	X	X	X	X	X
	<i>Sprekkemønster og sprekketetthet</i>	X	X	X	Æ	X
	<i>Svakhetssoner</i>	X	X	X	Æ	X
	<i>Lineamentstudier fra kart/oversiktsfoto/digitale karttjenester</i>	X	X	X	X	X
	<i>Omfang av dypforvitring</i>	?	X	?	?	X
	<i>Behov for detaljert undersøkelse av miljøfarlig bergmasse</i>	?	X	?	?	?
	Løsmasser, typer og mektighet	X	X	X	X	X
	Bergoverdekning	X	X	X	X	X
	Hydrologiske og hydrogeologiske registreringer:					
	<i>Måleprogram for grunnvannsnivå og poretrykk der dette er nødvendig, inkludert registrering av vannreservoar og myrområder, samt årstidsvariasjoner for disse.</i>	X	X	X	X	X
	<i>Sårbarhet i flora og fauna</i>	Y	X	X	X	Z
	<i>Kartlegging av setningsømfintlige områder</i>	X	X	X	?	?
	<i>Etablering av krav til begrensning av innlekkasje i de ulike deler av tunnelen, basert på poretrykkmålinger og tolkning av skadepotensiale.</i>	X	X	X	X	X
	<i>Fastsettelse av influensområde.</i>	X	X	Z	X	X
	Identifikasjon av bergarter som kan føre til sur eller giftig avrenning	?	X	X	?	?
	Behov for og gjennomføring av geofysiske undersøkelser	?	X	X	?	X
	Behov for og gjennomføring av kjerneboringer eller andre typer borehullsinspeksjoner	?	X	X	?	X
	Der det er igangsatt et måleprogram for grunnvannsstand og poretrykk skal det foretas hyppige registreringer for å dokumentere de naturlige variasjoner over tid, f.eks. med månedlige intervaller.	X	X	X	X	X
Kap. 2.6.	Dokumentere influensområder mtp. grunnvannssenkning og fare for setninger	?	X	?	?	?
	Kartlegging av løsmasser: tykkelse og setningsømfintlighet.	X	X	X	X	?
	Registrering av fundamenteringsforhold for byggverk.	X	Z	?	Y	?
	Vurdering av aktuelle tiltak for å oppfylle fastsatte lekkasjekrav.	X	X	X	X	X
	Vurdering av miljømessige konsekvenser ved avrenning fra tunnel.	?	?	?	?	?
	Fastsettelse av maksimum tillatt vannlekkasje inn i tunnelen i liter/minutt pr. 100 m tunnel (vises i tabell eller kart).	X	X	X	X	X
Kap. 2.7.	Supplerende grunnundersøkelser og kartlegginger av f.eks. måleresultater fra omgivelsene (grunnvann og setninger).	?	?	?	X	?
Kap. 3 Ytre Miljø	Plan for ytre miljø skal omhandle håndtering av naturmangfold (relatert til fuktighetskrevende natur)	?	?	?	?	?
	Plan for ytre miljø skal omhandle direkte og indirekte utslipp av klimagass (drenering av myr påvirker dette)	?	?	?	?	?
	Registreringer og måleprogrammer av naturmiljø og vannbalanse	?	?	?	X	?

## 4.1 Influensområde

Bestemmelse av influensområde er sentralt for risikovurdering av et tiltaks/prosjekts grunnvannspåvirkning og dertil potensiell negativ påvirkning på vannforekomster, natur, brønner, bebyggelse, infrastruktur mm.

Influensområdet defineres/nevnes i samtlige av prosjektene som er gjennomgått, dog det i prosjektet E39 Kristiansand-Mandal ikke oppgis maksimal utstrekning av influensområdet. Her er kun sårbarhet av bebygde områder belyst mtp. setninger, som igjen ligger til grunn for fastsettelse av innlekkasjekrav med mål om å minimere påvirkningen. I prosjektene E18 Lysaker-Ramstadsletta og E18 Ytre ringvei, er det benyttet erfaringstall fra publikasjon nr. 103 samt vurderinger rundt områdets geologi i delvis kombinasjon med resultater fra pumpetester (for eksempel har de i E18 Ytre ringvei fastsatt et generelt influensområde på 300 m samt utvidet det til 600 m langs markante svakhetssoner) (23). I prosjektet E39 Svegatjørn-Rådal ble det tidlig i planfasen (2005) definert risikoområder basert på sprekkesoner, som senere i planfasen ble definert som influensområder (37). I E16 Bjørnum – Skaret er det etablert en grunnvannsmodell som har blitt brukt i vurderingen av hvilke områder som kan bli påvirket (17).

Sammenstillingen av måledata fra Publikasjon nr. 103 blir brukt hyppig i bransjen til å si noe om forventet maksimal influensradius i et tunnelprosjekt. Sammenstillingen i publikasjon nr. 103 er basert på fire ulike prosjekter med formål om å si noe om mulig grunnvannssenkning sett i forhold til avstand fra tunnelen. Det er ukjent hvor nøyaktige målinger (grunnvannsstand og innlekkasje i tunnel) har blitt utført. Fra Oslo sentrum er det inkludert data fra 53 målere av ulike typer. Fra Romeriksporten er det inkludert data fra 20 fjellbrønner etablert etter at tunnelen var drevet. Fra Baneheia er det benyttet data fra to kjerneborehull, i tillegg til en grunnvannsbrønn som ligger 600 m unna tunnelen (dog det ser ut til at denne ikke er tatt med i sammenstillingen) (38).

Ettersom datagrunnlaget er svært lite og hovedsakelig fra Oslo-området, er det svært store usikkerheter ved bruk av erfaringstall fra publikasjon nr. 103 ved fastsettelse av influensradius i tunnelprosjekter. Til tross for dette oppleves det generelt at det i stor grad henvises til denne publikasjonen, og at influensområdet enten kun baserer seg på dette, eller i kombinasjon med en vurdering av områdets geologi, sprekkesoner og topografi, og eventuelt empiriske beregninger.

I motsetning til Normal for vegtunnel (N500), er det ikke krav til bestemmelse av influenssone for påvirkning på grunnvann i Normal for vegbygging (N200), mens omfang av undersøkelser generelt er godt beskrevet. Veibygging vil normalt kunne forårsake senkning av grunnvann og dertil drenering av fuktrevende natur, særlig rundt byggeproper og der det etableres kulverter etc. Det er per i dag stor usikkerhet forbundet med omfanget av negativ påvirkning i fuktrevende natur utover der en veikropp anlegges, da dette ikke undersøkes i særlig stor grad. Forundersøkelser for bestemmelse av influenssone og dertil vurdering av sårbare områder, kan derfor også være aktuelt i prosjekter med kun veg i dagen.

Datsettene fremskaffet gjennom BegrensSkade/Remedy kan benyttes til å vurdere influensområder basert på flere parametere knyttet til byggeprop. Målingene sammenstilt og gjengitt i Figur 4 er svært relevante for å estimere størrelse på influensområde til grunnvannssenkning i tidlig fase.

Videre presiseres det i rapport nr. 103 at det er en betydelig spredning i data, noe som kan forklares ved at måling av innlekkasjer gjøres over så lange strekninger i tunnelene (opptil flere hundre meter), slik at relativt høye lekkasjer på korte strekninger ikke fremkommer tydelig i måleresultatene. Lekkasje kan være konsentrert langs et fåtall sprekker, og det vil derfor være grunnvannsmålerne som har forbindelse med disse sprekke som vil reagere kraftigst. Det betyr at det er nødvending med et stort antall målere for å få full oversikt over tunnelens påvirkning på grunnvannet.

## 4.2 Grunnundersøkelser

Generelt beskriver N500 og N521 godt hvilke typer undersøkelser som skal utføres og til hvilken planfase. Flere av de geologiske undersøkelsene kan også benyttes av hydrogeologer til å vurdere berggrunnens ledningsevne. Det derimot vegnormaler med tilhørende veiledere ikke beskriver, er *akseptabel usikkerhet* (eksempelvis tilstrekkelig tetthet/antall måle- og overvåkningspunkter eller omfang av nødvendige undersøkelser) for å kunne kartlegge/definere prosjektets influensområde. Som publikasjon nr. 103 poengterer, er det behov for et omfattende overvåkningsprogram for å kunne fastsette og redusere usikkerheter rundt influensområdet. I prosjektene som er gjennomgått er det utført mange ulike typer undersøkelser, inkludert bergboringer og borehullslogging, geotekniske grunnundersøkelser, geofysiske undersøkelser (som refraksjonsseismikk, resistivitetmålinger og georadar), målinger av grunnvannsstand og vannstand i overflatevann/myrer og kjemisk analyse av bergarter samt ingeniørgeologisk/hydrogeologisk befaring og kartlegging (5).

FoU-prosjektet BegrensSkade fremhever viktigheten av å måle poretrykk rett ved vannførende akvifer, og i god tid før anleggsstart, for å få kartlagt null-tilstanden. Kartlegging av dybde til berg, løsmassetype med fokus på deformasjonsegenskaper og OCR i leire fremheves også.

Det er vanlig å benytte vanntapsmålinger i kjerneborehull og hammerborhull i berg for å kartlegge berggrunnens hydrauliske ledningsevne, og det ble for eksempel utført i prosjektene E18 Lysaker-Ramstadsletta, E18 Ytre ringvei og E16 Bjørum-Skaret (17) (19) (23). Det er usikkert om dette er den beste metoden i harde norske bergarter. Ofte gjøres vanntapsmålinger i kjerneborehull som etableres i tidlig planfase, uten å ha en god forståelse for sprekkesystemet langs den aktuelle traseen. Det er dermed i stor grad vilkårlig hvorvidt man treffer en vannførende sone i berggrunn ved vertikale kjerneborehull. Generelt burde det ha vært utført en god kartlegging av sprekkesoner før det eventuelt utføres vanntapsmålinger (i særlig grad for mer eller mindre vertikale borehull), slik at man har bedre kontroll på hvilke vannførende systemer man undersøker.

I E18 Ytre ringvei ble det utført pumpetest i flere bergbrønner. Det ble utført korttids pumpetest i to bergbrønner og resultatene er benyttet i vurdering av bergmassens hydrauliske ledningsevne og transmissivitet. Det ble også utført lang-tids pumpetest i én bergbrønn.

Samtlige av de gjennomgåtte prosjektene dokumenterer at sårbare naturområder er kartlagt, og for fire av de fem prosjektene er det identifisert fuktkrevende natur. For to av de fem prosjektene er kartleggingen basert på en befaring i tidlige faser av prosjektet (se vedlegg 2). Som en del av grunnundersøkelsene, bør naturtyper kartlegges med det formål å kartlegge fuktkrevende naturtyper samt naturtypenes spesifikke potensialet for restaurering. Dette er ikke beskrevet som et skal-krav i N500. I Publikasjon nr. 103 veiledes man til å kartlegge forskningsområder i terrenget da, som beskrevet over, markslagskart (eller Arealressurskart) ikke representerer all grunnvannsbetinget vegetasjon innen området. Publikasjon 103 beskriver at man kan anvende digital høydemodell (dtm) som grunnlag til dette, men poengter at det er behov for feltvalidering. Det fremkommer ikke i noen dokumenter at noen av de gjennomgåtte prosjektene har anvendt denne metodikken. Der det er beskrevet har daværende gjeldende metodikk for kartlegging vært Håndbok 13 (39). Både denne og dagens gjeldende metodikk beskriver naturtyper viktig i biologisk mangfold-sammenheng og inkluderer derfor ikke alle fuktkrevende naturtyper.

Da prosjektene oversendt fra Statens vegvesen i all hovedsak omhandler tunneler, kan det ikke sammenlignes med krav gitt i N200. I rapport nr. 423 (13) poengteres viktigheten av for- og etterundersøkelser av myr i forbindelse med veiutbygging, men forfatterne viser ikke eksempler på hvilke.

### 4.3 Vurdering av sårbare områder

#### 4.3.1 Fuktkrevende natur

Normal N500 angir ikke direkte at registreringer knyttet til fuktkrevende natur skal gjennomføres, men at det skal gjennomføres en vurdering av hydrologiske og hydrogeologiske forhold basert på en kartlegging. Foruten en kartlegging av geologi som inkluderer løsmasser, er det ikke gitt krav om hvilke andre registreringer som skal gjennomføres. I planprosessen skal det så gjøres en vurdering av effekter på fare for grunnvannssenkning og ytre miljø. Som beskrevet for tunnelbygging, skal man i forbindelse med konsekvensutredning kartlegge og vurdere konsekvenser for naturmangfold og klima, selv om dette ikke er beskrevet i Normalen. Gjeldende metoder for kartlegging av naturtyper og konsekvensutredning er gitt i M-2209, V712 og M-1941 (40) (41) (42). Se avsnitt 4.2.13 der metodikk relevant ved kartlegging og konsekvensvurdering av fuktkrevende natur blir diskutert.

Det er per i dag ikke angitt hvordan man skal kartlegge all fuktkrevende natur i noen kartleggingsinstrukser. Miljødirektoratets kartleggingsinstruks (40) beskriver kun naturtyper som enten er rødlistet eller er vurdert å ha sentral økosystemfunksjon. Ikke alle fuktkrevende naturtyper, spesielt ikke alle myrtyper, kommer innenfor denne kategorien. Dette betyr at selv om området er kartlagt ifm. eksempelvis en konsekvensutredning av naturmangfold, er ikke alle forekomster av fuktkrevende naturtyper dokumentert i Miljødirektoratets databaser.

Om man anvender informasjon tilgjengelig i Arealressurskart som AR5, er heller ikke alle forekomster av fuktkrevende naturtyper avgrenset. Arealressurskartene er fortrinnsvis utarbeidet med tanke på landbruk, og ikke økologi.

Det er beskrevet som et punkt under hydrologiske og hydrogeologiske registreringer (KRAV 2.5-2) at sårbarhet i flora og fauna skal vurderes/tolkes. For tre av de fire prosjektene beskrevet i kap. 3 hvor fuktkrevende naturtyper forekommer, er disse vurdert i detalj. Det refereres i N500 til veiledning i V521, som igjen viser til Publikasjon nr. 103. Publikasjon nr. 103 beskriver hvordan å regne ut sårbarhet til en naturtypelokalitet basert på størrelsen av nedbørsfeltet i kombinasjon med strukturgeologisk informasjon, men at klassene man deler inn i er basert på et begrenset erfaringsgrunnlag. I Publikasjon nr. 103 vises det til at det trengs forskning på effekter av grunnvannssenkning i ulik skala. Det er per i dag ikke tilstrekkelig kunnskap på hva hver fuktkrevende naturtype tåler med tanke på grunnvannssenkning.

Iht. publikasjon nr. 103 vil en lekkasje av et gitt omfang ha større effekt på en naturtype med lite tilsig enn en naturtype med stort tilsig. Sårbarheten til et område er dermed beskrevet å ha en direkte sammenheng med nedbørsfeltets størrelse.

#### 4.3.2 Setningsproblematikk

Setninger vurderes med utgangspunkt i forventet endring i poretrykk sett opp mot løsmassenes deformasjonsegenskaper, og da spesielt overkonsolideringsgrad (OCR). Hvorvidt det oppstår setninger som er skadelige for bygg og infrastruktur avhenger av deres tilstand og detaljene rundt fundamentering av konstruksjonene. Skadepotensialet innenfor influensområdet vil derfor måtte vurderes spesifikt for enkeltkonstruksjoner, fremfor at det kan gis generelle retningslinjer.

Dagens Eurokode 7 angir i sitt Vedlegg H (informativt) grenseverdier for konstruksjonens deformasjon og fundamentbevegelser, dvs. hvor mye setninger og differansesetninger (rotasjon) er akseptable for «normale, tradisjonelle konstruksjoner». Det skilles ikke mellom ulike typer bygningsmaterialer eller andre faktorer som f.eks. størrelse på bebyggelse. I utgangspunktet ivaretas

bruksgrensetilstanden hvis setningene er mindre enn 5 cm og differansesetninger gir en rotasjon mindre enn 1/500. Ved rotasjoner rundt 1/150 forårsakes bruddgrensetilstand.

Videre gis det en oppsummering og vurdering av metodikk og grenseverdier for vurdering av skader på bygg fra setninger i Karlsrud, K. (2015) (43).

I henhold til krav i kapittel 2.1 og 2.4 i N500, skal det gjøres vurderinger av hvor det kan oppstå setningsproblematikk som følge av innlekkasje av vann i tunnel. Setningsproblematikk er vurdert i prosjektene E18 Lysaker-Ramstadsletta, E18 Ytre ringvei og E39 Kristiansand-Mandal. I E18 Lysaker-Ramstadsletta er setningsømfintlige områder vurdert basert på kartgrunnlag på nett og grunnundersøkelser (leirens overkonsolideringsgrad (OCR) er vurdert fra utførte trykksonderinger (CPTU) og det er utført ødometerforsøk på prøveserier). I tillegg er det i dette prosjektet benyttet InSAR-data for å vurdere forekomst av setningsømfintlige områder (19). I prosjektet E18 Ytre ringvei er det benyttet kartgrunnlag på nett og grunnundersøkelser som totalsondering og CPT-sondering, og det er bl.a. etablert poretrykksmålere i områder med leire som anses å være setningsutsatte (23). I prosjektet E39 Kristiansand-Mandal er potensialet for setninger vurdert som lavt grunnet tynt og usammenhengende løsmassedekke i store deler av traséen. Der det er større løsmassetykkelser er det friksjonsmasser over berg som er lite setningsømfintlige. Det er heller ikke registrert bygninger eller annen infrastruktur som kan bli negativt påvirket av innlekkasje i tunnel (29) (30) (31) (33) (32). For prosjektene E39 Sveгатjørn-Rådal og E16 Bjørum-Skaret fremkommer det ikke i oversendt grunnlag om det er utført vurderinger av forekomst av setningsømfintlige områder.

Videre er det i kapittel 2.6 i N500 krav om at influensområdet for grunnvannssenkning og fare for setninger dokumenteres. I E18 Ytre ringvei ble det utført langtids pumpetest i én bergbrønn for å kartlegge utstrekningen av influensområdet og grunnvannssenkning i ulik avstand fra brønnen testen ble utført i. Det ble pumpet opp vann med en tilnærmet konstant rate på ca. 11,7 l/min i 72 timer. Fire omkringliggende hammerborehull og én poretrykksmåler ble overvåket under pumpetesten. Det ble registrert grunnvannssenkning i samtlige av overvåkningsbrønnene, men senkningen var større i sørlig retning sammenlignet med nordlig retning. Pumpetesten indikerte at ved en innlekkasje på 11,7 l/min, er det forventet et influensområde på over 100 m. Videre viste poretrykksmåleren (300 m sør for pumpebrønnen) ingen tegn på påvirkning, hvilket indikerer at en innlekkasje av denne størrelsen vil ha et influensområde innenfor intervallet 114 – 300 m (23).

#### 4.4 Teoretiske analyser og modellering

Det oppleves at det i stor grad benyttes empiriske beregninger i vurdering av influensområde og ved fastsettelse av innlekkasjekrav, hvilket medfører bruk av erfaringstall og standardverdier som igjen gir store usikkerheter knyttet til resultatene. I mange områder, for eksempel i fjellområder uten tilkomst, er det vanskelig å utføre grunnundersøkelser utover befarig (i noen områder er heller ikke dette mulig), og bruk av erfaringstall og standardverdier er derfor nødvendig. Der det foreligger stedsspesifikke verdier (for eksempel for hydraulisk ledningsevne) benyttes dette i beregningene, hvilket reduserer usikkerhetene til en viss grad. I de empiriske formlene som benyttes, som Cooper-Jacobs metode for å beregne transmissivitet og hydraulisk ledningsevne og Karlsruds formel for beregning av innlekkasje av vann i tunnel, antas det at grunnvannsakviferen er homogen og isotrop i alle retninger. Dette medfører en del usikkerheter som delvis kan reduseres med mer omfattende undersøkelser. I noen prosjekter, som i E18 Ytre ringvei, utføres det derfor mer omfattende grunnundersøkelser og in-situ feltforsøk (slik som pumpetest) for å få bedre oversikt over de hydrogeologiske forholdene og dermed redusere usikkerhetene ytterligere.

I enkelte tilfeller benyttes modellering, slik som i E16 Bjørum-Skaret. Hensikten med modellering er å gjenskape det hydrogeologiske systemet i det aktuelle området for å simulere effekten tunnelen kan



ha på grunnvannsstanden. Hvor god en modell faktisk er avhenger av input-verdiene og at modellen avgrenses av naturlige grensebetingelser, og ofte presterer modellen bedre i noen områder enn andre. I E16 Bjørum-Skaret har de benyttet resultater fra grunnvannsovervåkning i 47 punkter, nedbørsdata, kjernetolkninger, vanntapsmålinger (brukt til estimering av hydraulisk ledningsevne), estimat for grunnvannsnydning (ved empirisk beregning), i kombinasjon med lokal kunnskap ved oppbygging av 3D-modellen (17). Modellen ble kalibrert gjennom iterasjon ved at startverdiene som hydraulisk ledningsevne og nedbør, ble justert innenfor realistiske verdier basert på observasjoner, inntil den simulerte grunnvannsstanden var nærmest mulig den observerte. Modellen indikerte et komplekst system der grunnvannsstanden varierer over korte avstander, og det ble derfor i noen områder gjort manuelle endringer av for eksempel hydraulisk ledningsevne i svakhetssoner basert på observasjoner av kilder/artesisk trykk samt stort dyp til grunnvann (17). Modellert grunnvannsstand og strømningsretning stemmer godt overens med den konseptuelle forståelsen for grunnvannsstrømningen, og modellen ble benyttet videre i vurdering av innlekkasje uten injisering og i vurdering av innlekkasjekrav. Det beskrives flere usikkerhetsmomenter ved modellen. Blant annet har det vært komplisert å få modellen til å skape en bratt gradient fra grunnvannsmagasinet og ned mot flere bekkeløp, som betyr at modellen skaper et overtrykk ved bekken og at det renner grunnvann ut i bekken. Dette kan være tilfelle noen steder, men det er ikke sikkert det er slik overalt (17). Modellering er en konseptuell tilnærming til virkeligheten, og det er vanskelig å fange opp variasjoner i bergmassen for eksempel knyttet til hydraulisk konduktivitet. Dette medfører at innlekkasje i tunnel vil variere mer enn det som fremkommer i modelleringen. Dersom datagrunnlaget er godt nok, antas det at modellering er en god metode for systematisering av data for å kunne se de i sammenheng. Videre er kalibrering av modellen viktig, og for å kunne gjøre dette er det vesentlig at det er et representativt overvåkningsprogram som kombinerer poretrykks- og grunnvannsmålinger med hydrologiske målinger som vannstandsmålinger og nedbør, som modellen kan sammenlignes og kalibreres mot. Dette vil også kunne brukes opp mot overvåkning av påvirkning på fuktkrevende naturmiljø.

#### 4.5 Innlekkasjekrav

Vurdering av innlekkasjekrav baserer seg på en rekke forhold, som grovt kan deles inn i følgende hovedgrupper (11):

- Konsekvenser av lekkasje for omgivelsene (ytre miljø og setninger)
- Konsekvenser for selve anleggsdriften (tunneldrift og kvalitet på anleggsarbeidet)
- Konsekvenser for det permanente anlegget (levetid og driftskostnader)

Krav i drivefasen og grunnvannssenkning har som regel størst betydning for injeksjonsstrategi for tunneler utenfor tettbygde strøk, mens i tettbygde strøk kan setningsproblematikk være førende for valg av injeksjonsstrategi. Av prosjektene som er gjennomgått, er setningsproblematikk helt/delvis avgjørende for fastsettelse av innlekkasjekrav i E18 Lysaker – Ramstadsletta og E18 Ytre ringvei, mens det for E39 Sveгатjørn – Rådal og E16 Bjørum – Skaret ikke er kjent. Påvirkning på vannforekomster og fuktkrevende natur er helt/delvis avgjørende ved vurdering og fastsettelse av innlekkasjekrav i E16 Bjørum – Skaret, E18 Ytre ringvei, E39 Kristiansand – Mandal og E39 Sveгатjørn – Rådal.

Som tidligere beskrevet, er influenssone for grunnvannspåvirkning i prosjektet E18 Ytre ringvei basert på resultater fra pumpetester i kombinasjon med grunnvannsovervåkning samt resultater fra vanntapsmålinger og kapasitetstest av bergbrønner. I setningsømfintlige områder er akseptabel innlekkasje vurdert basert på utstrekning av dette beregnede influensområdet, hvor maksimal innlekkasje tilsvare en rate som *ikke* medfører grunnvannssenkning til under stedsspesifikt angitte

terskelverdier (23). I prosjektet E16 Bjørum – Skaret er det benyttet modellering for å fastsette innlekkasjekrav. For de øvrige prosjektene er det benyttet empiriske, analytiske beregninger av innlekkasje i tunnel for vurdering av hva som anses som akseptabel innlekkasje.

Iht. publikasjon nr. 103 bør ikke lekkasjer til tunnel på permanent basis overstige tilsiget til innsjøer eller nydannelsen til grunnvannet. Publikasjon nr. 103 definerer ikke en fast akseptgrense for alle tunneller, men beskriver hvordan man skal vurdere stedsspesifikke akseptgrenser. I prosjektene E16 Bjørum – Skaret, E18 Ytre ringvei, E39 Kristiansand – Mandal og E39 Sveгатjörn – Rådal, er innlekkasjekrav fastsatt med tanke på forekomst av fuktkrevende natur. De fastsatte innlekkasjekravene varierer mellom 3 l/min/100 m og 20 l/min/100 m. I Publikasjon nr. 103 vises det derimot til at det mangler kunnskap rundt hva hver fuktkrevende naturtype tåler mtp. grunnvannssenkning, og det er derfor uvisst om innlekkasjekravene som fastsettes er tilstrekkelig for å bevare funksjon og økologi ved de fuktkrevende naturtypene. I Publikasjon nr. 103 gis det eksempel på inndeling av sårbarhetsklasser avhengig av nedbørsfelts størrelse, men datagrunnlaget for inndelingen er begrenset. Det er også gitt eksempel på estimert tunnellekkasje i prosent av nedbørsfeltavrenningen ved ulike scenarier (5). Det finnes derimot lite data om sammenhengen mellom lekkasjeandel i forhold til avrenning, slik at her vil det være en vurdering av løsmasseforhold, verdivurdering og annet som påvirker anbefalingene om hvilken grense en bør bruke (5). I E18 Ytre ringvei, E30 Kristiansand-Mandal (og muligvis E39 Sveгатjörn – Rådal), antas det at en 10 % påvirkning på for eksempel en vannforekomst er akseptabelt. Det oppleves at dette er en standard antagelse i bransjen, men denne standardverdien baserer seg kun på ett studie ved Holsfjorden utført i 2001 (44), og det er dermed stor usikkerhet knyttet til hvor representativt dette er for andre vannforekomster og myrområder.

#### 4.6 Overvåkning og oppfølging

I N500 stilles det krav om at man skal registrere grunnvannsnivå gjennom prosjektets ulike faser (planlegging, prosjektering, utbygging og drift) om man finner dette relevant. Om prosjektet for eksempel berører overflatevann, vassdrag, fuktkrevende naturtyper eller det er fare for setninger, er dette alltid relevant.

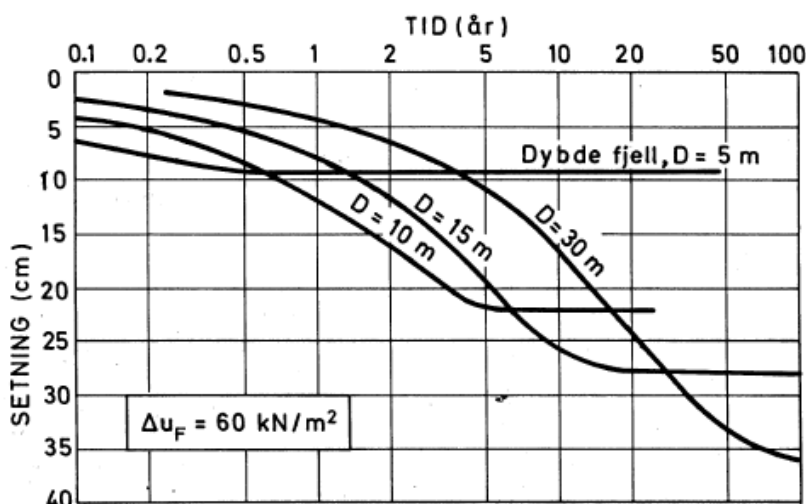
I samtlige av de gjennomgåtte prosjektene er det etablert et overvåkningsprogram for grunnvann, og i noen prosjekter også for overflatevann/myrer (se mer i vedlegg 2). I samtlige prosjekter ble overvåkningpunktene etablert i forkant av byggestart samt at det i noen prosjekter ble etablert supplerende overvåkningspunkter underveis. I E39 Kristiansand – Mandal ble overvåkningspunktene etablert fra noen uker til opp mot ett år før byggestart. Så langt det går, anbefales det å overvåke i minimum ett år før anleggsstart. Dette er for å fange opp sesongvariasjoner og tilpasse overvåkningsprogrammet og eventuelle terskelverdier mest mulig til de faktiske forholdene og variasjonene i vannstanden.

Videre er det usikkert om det er installert vannmålere i de områdene der det vurderes at tunnelen kan påvirke fuktkrevende natur. I E39 Sveгатjörn – Rådal er det installert og tilsynelatende gjort manuelle registreringer av vannnivå i myrer, men det er usikkert om dette har blitt utført i anleggsfase og driftsfase. I E16 Bjørum – Skaret og E18 Ytre ringvei er det etablert vannstandsmålere i overflatevann, men det er ikke kjent at det er utført overvåkning i myrer og andre fuktkrevende naturtyper. Generelt virker det som at grunnvannsovervåkning er det som i størst grad blir prioritert ved tunnelprosjekter, og at vannstandsmålinger i overflatevann, myrer og andre fuktkrevende naturtyper fort kan bli neglisjert.

Anbefaling til omfang og varighet av overvåkning før oppstart og videre i driftsfase, varierer dermed i prosjektene. I E18 Lysaker – Ramstadsletta og E39 Sveгатjörn – Rådal beskrives det at overvåkningen

bør pågå inn i driftsfase (henholdsvis 1 år og 2-3 år), mens det i de øvrige prosjektene ikke fremkommer krav/anbefaling om overvåking i driftsfase. Overvåking i driftsfase er viktig da eventuell påvirkning i flere tilfeller kan oppstå først etter at tunnelen er ferdigstilt.

Anbefalt overvåkingsperiode i driftsfase er ofte ett år etter ferdigstilling. Ettersom grunnvannet ofte beveger seg med en svært lav hastighet, kan det ta lang tid før eventuell påvirkning vil oppstå lengst ute i influensområdet. I anbefaling av varighet og omfang av overvåking i driftsfase, er det derfor viktig å ha oversikt over mulige kilder til registrert påvirkning; utfelling av sekundærminerale og dertil naturlig tetting av sprekker, endringer i innlekkasje som følge av tilnærming mot en ny, påvirket stasjonær tilstand, effekter fra nærliggende prosjekter mm. Dette for å bedre grunnlaget for tolkning av overvåkingsresultater i sammenheng med utførte undersøkelser, beregninger og modellering. Dette vil kunne brukes for iverksetting av tilpassede avbøtende tiltak (eksempelvis vil effekten av vanninfiltrasjon reduseres om det trenger inn i en nærliggende tunnel/byggegrøp etc.) samt i videre forskning mot utvikling av en tverrfaglig akseptert «beste praksis». Deler av dette beskrives i publikasjon nr. 103 ved at man må være forsiktig med å ta målt reduksjon i lekkasje over tid som tegn på at tunnelen blir tettere; etter hvert som grunnvannsnivå senkes som følge av innlekkasje til tunnel, vil også innlekkasjemengder reduseres som følge av reduksjon av overliggende grunnvannsmagasin. Tunneler prosjekteres til å vare i 100 år og vil kunne fungere som en evig drenstunnel, frem til forholdene rundt tunnelen oppnår en ny, påvirket stasjonær tilstand.



Figur 4.9 Beregnet tidsforløp av setninger for  $\Delta u_F = 6 \text{ m}$

Figur 4-1: Figur hentet fra rapport. Figuren viser beregnet tidsforløp av setninger for en poretrykksreduksjon ved fjell på 6 m. Setninger i tidlig fase utvikler seg raskest og er størst for relativt beskjedne dybder til fjell, og at det kan ta mange år før setningene ved større dybde til fjell tar igjen setningene for mindre dybde (45).

#### 4.7 Avbøtende tiltak

For å motvirke påvirkning på grunnvannsstand, er det flere mulige tiltak som kan iverksettes. BegrensSkade/Remedy viser klart at tiltak som vanninfiltrering og berginjeksjon har en positiv effekt for å begrense påvirkning på grunnvannsspeil fra en byggegrøp. Videre fremhever prosjektet at man kan tilstrebe løsninger hvor man søker å begrense utgravingsdybde og fokusere på innvendige avstivningsløsninger. Borede ankere og spunt medfører en klar risiko for lekkasjer og grunnvannssenkning.

Vanninfiltrasjon er også et kjent tiltak i tunnelprosjekter. I E18 Lysaker – Ramstadsletta er dette beskrevet som et mulig avbøtende tiltak. Infiltrasjonsbrønnene skulle bores og testes i forkant av anleggsarbeidene slik at de var klare ved behov, men det fremkommer ikke av oversendt grunnlag om dette er utført. Også i E18 Ytre ringvei er infiltrasjonsbrønner foreslått som et mulig tiltak. I resterende prosjekter fremkommer det ikke av oversendt grunnlag anbefalte tiltak for å forhindre grunnvannssenkning ved tunnelutbygging.

#### 4.8 Rapportering

Det foreligger ingen krav til hydrogeologisk rapportering eller sluttrapport i N500. Det er derimot krav til ingeniørgeologisk sluttrapport, og i denne beskrives ofte hydrogeologiske forhold til en viss grad. I sluttrapportene i prosjektet E18 Kristiansand – Mandal er registrert innlekkasje i tunnel og resultater fra grunnvannsovervåkning med beskrivelse av mulig påvirkning fra tunnel inkludert (46) (47) (48) (49) (50).

#### 4.9 Søknader til myndighet

Utover NVE Veileder 1/2021 *Veileder til Vannressursloven og NVEs behandling av vassdrags- og grunnvannstiltak*, er det ingen klare retningslinjer på hvilke grunnvannspåvirkninger som vil være konsesjonspliktig overfor vannressursloven, være seg tunnel, byggegrop, skjæringer eller tilsvarende.

Det er i flere prosjekt generalisert i form av at tiltak som resulterer i et *uttak* av grunnvann over 100 m<sup>3</sup>/time er konsesjonspliktig. Dette er imidlertid en forenkling basert på ett av flere punkt i nevnte NVEs veileder.

Det bør avklares på et tidlig tidspunkt i planprosessen hvorvidt planlagt veganlegg, eller andre prosjekt som vil påvirke grunnvannsnivået ved *uttak* av grunnvann, trenger tillatelse iht. vannressursloven og om det er konsesjonspliktig. Det fremkommer ikke i prosjektene som er gjennomgått om dette er vurdert.

## 5 Mangler ved dagens Normaler, veiledningsmateriale og bransjepraksis

Som det står presisert i regelverket, er tverrfaglighet mellom geologi, geoteknikk, hydrogeologi og hydrologi viktig i arbeidet med vurdering av grunnvannspåvirkning. Fagtema økologi er ikke inkludert som en naturlig del av dette ved at krav mtp. økologi er lite nevnt. Det er således et klart ingeniørgeologisk og geoteknisk faglig fokus, hvor behov for hydrogeologiske vurderinger trekkes fram i enkelte sammenhenger. Det som omhandler hydrogeologi og økologi i det geotekniske veiledningsmaterialet er overordnet og generelt. Begrens skade (2016) påpeker mellom annet at grunnvannsproblematikk ofte ikke fanges opp i prosjektering. Det bør derfor innføres spesifikke råd og føringer knyttet til hydrogeologiske og økologiske forhold.

Etablering av utgravinger og byggegrop er den mest sentrale problemstillingen for geoteknikk-faget som berører påvirkning av grunnvannsforhold. Generelt er geoteknikkfaget godt dekket med lovverk og veiledningsmaterieell knyttet til denne problemstillingen. Det er likevel forbedringspunkter. Spesielt gjelder dette at veiledningsmaterialet fokuserer nokså ensidig på skader med økonomisk konsekvens. Videre omfatter dette i hovedsak skade på eksisterende bygg og infrastruktur, og ikke «verdien» av arealene innenfor det spesifikke prosjektets influenssone; ett prosjekts grunnvannspåvirkning kan medføre behov for fordyrende tiltak ved fremtidig utbygging/terrenginngrep for nærliggende områder. Konsekvens for natur og miljø løftes i liten grad fram.

I forbindelse med prosjektering av tunneler stilles det krav til at influensområdet skal vurderes i kommunedelplan og reguleringsplan. For vurdering av influensområde har Statens vegvesen hovedsakelig henvist til publikasjon nr. 103, som fra erfaringsdata viser at influenssone ofte er 300 m ut fra tunnel, men med store usikkerheter. Influensområdet er påvirket av flere faktorer, bl.a. geologi. Norske bergarter har hovedsakelig lav hydraulisk konduktivitet, men denne kan variere lokalt, da hydraulisk konduktivitet i norske bergarter i all hovedsak er styrt av sprekkekaraktistikker. Det er enighet om at geologi påvirker hydraulisk konduktivitet, men det er ikke utarbeidet en metode for å kvantifisere hvordan geologi påvirker influenssone og innlekkasje utover å benytte hydraulisk ledningsevne i empiriske beregninger. Det stilles ikke krav til omfang og type geologiske og hydrogeologiske undersøkelser som skal utføres for å kartlegge berggrunnen i N500. Det resulterer i at mengde og kvalitet på tilgjengelig grunnlagsmateriale under vurderingen varierer. En god forundersøkelse for å kartlegge både bergmassekvalitet og hydraulisk ledningsevne, er kjerneboring med vanntapsmåling. Eventuelle kjerneboring(er) er bare en stikkprøve av berggrunnen. Og selv om det utføres kjerneboring er det ikke utviklet en standardisert metode for hvordan kartlagt geologi påvirker influenssone. Det betyr at eventuelle grunnlagsdata tolkes med en grad av subjektivitet som igjen gir en grad av usikkerhet. Usikkerheter i vurderingene kan videre resultere i strengere innlekkasjekrav og større influenssone enn hva som faktisk er reelt, eller for milde krav og for liten influenssone. Trenden de siste årene er at det stilles strengere og strengere innlekkasjekrav. Å kunne avgrense influenssone og innlekkasjekravet til et «godt nok» omfang, vil spare prosjekter både tid og kostnader samt redusere klimaavtrykket. Samtidig skal ikke kravet underdimensjoneres. For å gjøre dette må det utarbeides en bedre metode for å redusere usikkerhet knyttet til geologi i vurderingen av influenssone.

Innlekkasjekrav stilles før byggefase. Til tross for at det som oftest er begrenset grunnlagsdata når fastsetting av influenssone utføres, justeres sjeldent innlekkasjekravet underveis i drivefase basert på faktisk registrert lekkasje, geologi og registrert influenssone. Kan det, gitt bedre forståelse, være en oppfølgingsmetode som gir rom for optimalisering i byggefase? Eksempelvis kartlegging av faktisk vannførende sprekker i tunnel i kombinasjon med registrerte endringer i grunnvannsnivå?

I byggefase er det vanlig praksis å følge opp innlekkasjekravet med målesterskler i tunnel, samt poretrykksmålere i ulik avstand fra tunneltraséen. Monteringstidspunkt (i forhold til stuff), avstand mellom terskler, antall målinger og selve kvaliteten på utførelsen, varierer imidlertid mellom prosjekter. N-V521 anbefaler å utføre målinger etter helger og ferier. Erfaringsmessig er det for stor usikkerhet i målinger utført etter helg til at denne kan brukes som offisiell vannmåling, men målingen kan gi en indikasjon på lekkasjenivået. Offisielle lekkasjemålinger skal utføres etter lengre stilleperioder (ferie). I forkant av målinger må det utføres en kontroll av både terskler og veibane for å kontrollere at vann renner gjennom målerøret, og reparere lekkasjer fra eksterne lekkasjekilder (vannrør, containere ol.). Under måling er det viktig at målevarigheten til hver måling og måleutstyret tilpasses lekkasjemengdene som utføres. Ved små lekkasjer og strenge krav bør det stilles krav til lengre målesekvens. Ved store lekkasjer bør det stilles krav til måling med f.eks. 1000 liter IBC. Det bør utføres minimum tre målinger av hver terskel, men ved stor variasjon bør antallet økes og målemetode revurderes. Det bør utføres flere offisielle målinger for å kontrollere variasjoner og avdekke avvik før terskelen godkjennes. Antall offisielle målinger bør tilpasses usikkerhetsbildet. Videre anbefales det å stille krav til akseptabel variasjon i målingene før de kan godkjennes.

Selv om det stilles krav til internkontroll og uavhengig kontroll, varierer kontrollomfanget av innlekkasjemålinger og målesterskler, til tross for at dette er en usikker målemetode. N-V521 kapittel 4.5 gir generelle anbefalinger for innlekkasjemålinger. Men det er ikke stilt konkrete krav til hvordan godkjenning av målesterskler og resultater skal praktiseres, samt når målesterskler skal etableres. Ved behovsprøvd injeksjon benyttes sonderboring for å vurdere injeksjonsbehovet, men det finnes ikke en omforent metodikk for fastsettelse av lekkasjekrav fra sonderhull. Det anbefales å se på muligheten for å utarbeide en metodikk eller formel for å tallfeste akseptabel lekkasje i sonderhull basert på erfaringstall og faglig vurdering. Det anbefales videre å spesifisere hvordan sonderhullene skal måles, eksempelvis med kortstav og målebøtte inkl. nøyaktighetskrav (f.eks.  $\pm 0,1$  l/min).

Siden gjeldende veiledninger ble utarbeidet, har dokumentasjonskravet på prosjekter økt betraktelig. I tillegg har det foregått (foregår) en digitalisering i bransjen. Det betyr at det finnes store mengder data som ikke er innsamlet, inkludert data som tidligere ikke eksisterte. Det bør derfor samles inn data fra relevante nyere prosjekter, for å undersøke mulige sammenhenger og erfaringer som kan benyttes i videre anbefalinger. Bearbeiding av resultater etter endt byggefase gjøres i liten grad. Dataen bør bearbeides ved å se på faktisk influenssone og påvirkningsgraden mot innlekkasjekravet, registrert lekkasjer i tunnel/bergrom og kartlagt geologi. Det bør også vurderes om det er mangler i dokumentasjonskrav eller undersøkelsesomfanget (gjelder for alle faser av prosjekter) som det bør stilles krav/anbefalinger til i fremtiden. Et eksempelprosjekt med alternative innlekkasjemålinger i tunnel er Hestnestunnelen, hvor det utføres vanntapsmålinger på stuff. Se kap. 7.1 for nærmere presentasjon av dette prosjektet.

Det er krav om å fastsette influensområde for tunnelbygging, men ikke for vegbygging. Det finnes imidlertid ingen krav om teoretiske analyser for definering av influensområde, hverken for tunnel, byggegrop eller vei dagen. For tunnelbygging er det krav om at man basert på poretrykksmålninger og tolkning av skadepotensiale, skal etablere krav til begrensning av innlekkasje i ulike deler av tunnelen. For vegbygging er det ingen krav om å definere terskelverdier for størrelsen på inngrep som berører grunnvann, enten det være seg i fuktkrevende natur som myr eller i vann og vassdrag.

Per i dag foreligger det ingen definert metode å bestemme influensradius i et tunnelprosjekt ut ifra dagens normaler eller veiledningsmateriell. For veg i dagen, byggegrop og skjæringer er det heller ingen metode eller prosedyre for fastsettelse av influensområde, men heller fokus på endring i grunnvannsnivå og poretrykk. Det foreligger en sammenstilling av erfaringsdata på grunnvannssenkning og poretrykkreduksjon ved tunnelprosjekter i publikasjon nr. 103, men denne

fremstår som utdatert, og beskriver store usikkerheter rundt nøyaktigheten og representativiteten i måledata grunnet begrenset kunnskap/empiriske data. Videre er sammenstillingen av erfaringsdata i hovedsak basert på prosjekter i Oslo-regionen. Den allerede store usikkerheten som foreligger i publikasjon nr. 103 vil derfor kunne øke ved bruk i andre geologiske regioner.

Fra prosjektgjennomgangen varierer det hvordan influensområdet defineres. Det er få prosjekter som har verifisert de definerte influensområdene med kontinuerlige måleserier før, under og etter anleggsfase. Enkelte prosjekter benytter erfaringsdata fra publikasjon nr. 103, andre benytter publikasjonen sammen med egne vurderinger av svakhetssoner, og andre benytter egne metoder for å vurdere potensiell påvirkning.

Det oppleves at det i en tidlig fase av prosjekter defineres et influensområde for grunnvannspåvirkning med potensiell negativ påvirkning på sårbare områder. Publikasjon nr. 103 beskriver at langs en tunelltrasé bør sårbare naturtyper verdivurderes. For at dette skal kunne gjennomføres, må først sårbare naturtyper bli kartlagt. Det foreligger imidlertid ingen krav om kartlegging av *alle* fuktkrevende naturtyper (sårbare naturområder) ifm. tunellbygging eller vegbygging, men at det i en planprosess skal gjennomføres en konsekvensutredning. Håndbok V712 beskriver metode for konsekvensanalyser, siste versjon ble utgitt i 2021 (41). Denne håndboka er oppdatert for å tilpasse seg Miljødirektoratets metodikk for konsekvensutredning av Naturmangfold, som beskrives i Veileder | M-1941 Konsekvensutredning av klima og miljø (42). V712 beskriver at en befaring skal gjennomføres for å innhente detaljert kunnskap og det henvises til Miljødirektoratets veileder M-1941, som igjen viser til at Miljødirektoratets kartleggingsinstruks M-2209 skal anvendes (men at denne ikke dekker alle naturtyper). Publikasjon nr. 103 er ikke oppdatert iht. dette.

Sårbare områder og fuktkrevende natur langs traseen kan ofte medføre omfattende og økte kostnader tilknyttet injeksjon, og bør kartlegges mer detaljert og tidligere i planfasen av prosjekter, for å redusere usikkerheter til et akseptable minimum. Dersom dette gjøres i tidlig planfasen er det også bedre tid til å igangsette overvåking av naturtypen/vannforekomsten mtp. eventuell robusthet. Hvorvidt det utføres overvåking i resipienter eller naturtyper oppleves som begrenset. Dersom det ikke utføres overvåking er det også vanskelig å si noe om effekt og dertil faktisk konsekvens av et utført prosjekt. Siden 2015 har det vært stort fokus på restaurering av myr og man har fått mer kunnskap om hvilke tiltak som fungerer og hvilke som ikke fungerer like godt. Dette er ikke inkludert i Publikasjon nr. 103.

Videre i prosjektgjennomføringen virker det som om fokuset legges på registreringer og målinger av lekkasjer i tunnel, og mindre på eventuelle endringer i influensområdet. Dette kan nok trolig komme av at det ikke utføres tilstrekkelig overvåking i de fastsatte influensområdene samtidig som at målt innlekkasje er et lettere tall å forholde seg til. Dersom det utføres overvåking innefor influenssonen, utføres dette som oftest opptil 100 m fra tunneltraséen og ikke opptil 300-500 m unna, som svært ofte er det definerte influensområdet. I tillegg er det sjeldent at tilstand i fuktkrevende natur overvåkes, hvor faktisk omfang av negativ påvirkning kan komme til syne lang tid etter avsluttet anleggsfase. Det er heller ingen prosedyre eller systematisk beskrivelse for hvordan registrert lekkasje på stuff skal følges opp under driving av en tunnel med tanke på hydrogeologisk påvirkning. For å kunne vite om en større lekkasje på stuff utgjør en negativ hydrogeologisk konsekvens, er man helt avhengig av at det utføres kontinuerlig overvåking i tilstrekkelig avstand fra tunneltraséen, samtidig som at en hydrogeolog må ha ansvar for å følge opp registreringene.

I veiledning til N500 er det beskrevet at grunnundersøkelser skal legges inn i NADAG. Det er ikke beskrevet at grunnvannsbrønner skal registreres i GRANADA eller at registreringer av naturtyper eller arter skal registreres i Artsdatabankens og/eller Miljødirektoratets databaser. Et slikt krav bør innføres.

I normalene og veilederne mangler det beskrivelse av krav til egne hydrogeologiske og/eller økologiske rapporter. Det er noe utydelig i N500 om hydrogeologiske rapporter skal inkluderes i geologiske rapporter eller om de skal fremstå som egne fagrapporter. I noen prosjektet utarbeides det egne fagrapporter innen hydrogeologi, mens det i andre inkluderes i ingeniørgeologiske fagrapporter. Det er heller ingen krav til sluttrapport for hydrogeologi/økologi eller å dokumentere eventuell effekt i sårbare områder/naturtyper/forekomster. Dersom det utføres overvåkning, bør det som et minimum utføres i ett år etter anleggsfasen, og det burde skrives sluttrapport for disse arbeidene når overvåkning avsluttes. Innhold og omfang av en slik sluttrapport må standardiseres for å oppnå en felles forståelse og utnyttelse av overvåkningsresultater, sett opp mot etablerte innlekkasjeverdier, utførte tiltak og faktisk påvirkning på grunnvann og dertil påfølgende konsekvenser for setningsutvikling og forringelse av naturmiljø. I V521 beskrives det at innlekkasjer (og derav målt innlekkasje) skal beskrives i ingeniørgeologisk sluttrapport, og oversendte sluttrapporter inkluderer både målt innlekkasje i tunnel, resultater fra grunnvannsovervåkning og vurdering av påvirkning på grunnvannsnivået, dog ingenting om påvirkning på sårbar natur. Dersom det hadde vært krav til sluttrapport for utført overvåkning, hadde det trolig vært et større fokus på å gjennomføre en god overvåkning i prosjektene samt rapportering av overvåkingen og vurdering av eventuell påvirkning. Det samme gjelder dersom det ble stilt krav om å utarbeide egne hydrogeologiske og økologiske fagrapporter. Samtidig er det viktig å huske på at et av suksesskriteriene mtp. grunnvannspåvirkning er et godt tverrfaglig samarbeid. For vegtunneler anbefales det å inkludere myr i 3D-modell. En mulig løsning på økt og mer effektiv tverrfaglighet kan være å inkludere både hydrogeologi og økologi som tema/emner i tverrfaglige 3D-modeller for både vei og tunnel. Slike modeller vil kunne fungere som naturfaglige *BIM-modeller*, hvor tverrfaglige «krasjteter» kan utføres og diskuteres.

Det er problematisk med god erfaringsoverføring fra og mellom prosjekter når undersøkelser og vurderinger gjøres ulikt og over flere år, spesielt dersom det ikke foreligger en god metode for å behandle og lagre data. Statens vegvesen har en egen rapporteringsløsning som heter RapportWeb, men her er det ikke et eget fagtema for hydrogeologi. Hvorvidt hydrogeologiske eller eventuelle økologiske fagrapporter blir lagt inn i Statens vegvesen sitt dokumentarkiv er derfor usikkert.



## 6 Oppsummering og konklusjon

Generelt er det et komplisert system å sette seg inn i med ulike krav, veiledninger og fagrapporter. Det foreligger mye god informasjon som kan benyttes i prosjekter, men dette ligger spredt og det tar tid å finne alle relevante krav for sitt fagområde. Dette gjelder spesielt naturmangfold, men også for hydrogeologi.

Etter arbeidene med foreliggende rapport er det ikke mulig å fastslå en *beste praksis*, da det ikke foreligger tilstrekkelig data fra driftsfase i gjennomgåtte prosjekt til å sammenligne resultatene fra forundersøkelser med registrert data før, under og i etterkant av anleggsfase. Det er imidlertid funnet bruk av flere metoder for vurdering og bestemmelse av tiltakets influenssone på grunnvann, oppsummert i Tabell 4-1 og vedlegg 1 og 2.

Det oppfordres til tverrfaglig arbeid, men normalene med tilhørende veiledere er oppbygd relativt enfaglig. Det må gjøres et arbeid for å forene alle berørte fag for å oppnå en helhetlig forståelse av *grunnvannets influenssone* og konsekvenser av at den påvirkes gjennom utførelse av et prosjekt. Til dette kan en felles arbeidsplattform være et sentralt verktøy, f.eks. en BIM modell som også inkluderer YM-plan, marksikringsplan mm.

Det må stilles krav til mer detaljert biologisk kartlegging som del av forundersøkelsene, både for å sikre kartlegging av alle fuktkrevende naturtyper og for å kartlegge faktisk restaureringspotensiale før prosjektering utføres med forbehold om at natur restaureres. For optimal kartlegging er det imidlertid viktig å på forhånd ha bestemt en influenssone med akseptabel usikkerhet.

En mulig tilnærming kan være at nødvendig omfang av undersøkelser for bestemmelse av influenssone med akseptabel usikkerhet for tunnel bør omfatte følgende:

- Innledende undersøkelser, anbefalt utført i samme rekkefølge som opplistet
  - Gjennomgang av eksisterende geologisk (berggrunns- og kvartærgeologi), hydrogeologisk og hydrologisk informasjon og data langs tunneltraséen ved bruk av digitale verktøy
    - Viktig med god faglig forståelse.
  - Generere hydrologiske nedbørsfelt langs traséen
  - Geologisk feltkartlegging av særlig relevante områder avdekket i innledende studie av kjent data
  - Basert på innledende kartlegging langs traséen, utvides kartleggingen i tilstrekkelig skala ut ifra traséen langs relevante geologiske formasjoner
    - Kan utføres grovere enn innledende feltkartlegging, eksempelvis ved analysering av flyfoto, LIDAR, drone etc.
  - **En første avgrensning av potensiell influenssone**
  - Etablere bergbrønner (hammerborehull) og/eller kjerneboring i/gjennom svakhets- og sprekkesoner med tanke på geofysisk borehullslogging, logging av grunnvannsnivå/vanntapsmålinger, temperatur, pH og hydraulisk konduktivitet.
  - Utføre brønnsesifikke tester i bergbrønner etablert i svakhets- og sprekkesoner. Viktig med observasjonsbrønner i ulik avstand.
  - Langtids pumpeforsøk med observasjonsbrønner i ulik avstand fra tunneltrasé, hvor det benyttes pumperater relatert til innlekkasjekrav for ulike sårbarhetsklasser.

- **En andre avgrensning av potensiell influenssone**
- Detaljerte undersøkelser som kan utføres parallelt av respektive fag:
  - Geotekniske grunnundersøkelser mtp. løsmassetykkelse, vannføringsevne, lagdeling og setningsømfintlighet i aktuelle områder.
    - Totalsonderinger, prøveserier, poretryksmålere, egnede geofysiske undersøkelser (GPR, seismikk etc.)
  - Etablere grunnvannsbrønner i løsmasser for logging av grunnvannsnivå, temperatur og hydraulisk konduktivitet.
  - Kartlegge vannforekomster og fuktkrevende naturtyper
    - Sett i forhold til kartlagt geologi (sprekke- og svakhetssoner mm.) og hydrologi, vurdere hvorvidt disse står i hydraulisk kontakt med grunnvann i berggrunn eller løsmasser, eller om de mates av nedbør/overflateavrenning.
    - Bestemme restaureringspotensialet i kartlagte naturtyper
  - Dersom tilkomst til relevante våtområder/myrområder med borerigg, utføre fysiske undersøkelser for kartlegging av grunnvannssituasjon (hydraulisk kontakt med grunnvann i løsmasser eller berg)
    - Instrumentere med poretryksmålere/vannstandsmålere.
  - Etablere et tilpasset overvåkningsprogram for grunnvannsstand i berg og løsmasser samt poretrykk og setningsutvikling.
  - Dersom sårbar elv, vann, myrområde, instrumenteres disse med nivå og temperatur.
  - Starte overvåkning minimum ett år før oppstart, helst to år

Etter hvert som data fra nevnte undersøkelser foreligger, kan det etableres en felles *naturfaglig* 3D-modell, hvis usikkerhet reduseres etter hvert som datasettene utvides i tiden frem mot oppstart. Viktigheten av å starte undersøkelsene tidlig poengteres dermed gjennom redusert usikkerhet og dertil bedre grunnlag for optimal detaljprosjektering, anleggsgjennomføring og drift.

## 7 Anbefalinger for videre arbeider

### 7.1 Regelverk og veiledere

I vedlegg 3 er det gitt en sammenstilling av konkrete forbedringsforslag av regelverk, veiledere og rapporter med tanke på tema gjennomgått i foreliggende rapport.

Generelt er det i regelverk og veiledningsmaterialet gode beskrivelser av metoder for hvordan man kan gå frem for å undersøke hydrogeologiske forhold. Likevel har enkelte av kravene vage formuleringer (eksempelvis *anbefales*, *vurderes*, etc.), som anbefales justert for å tydeliggjøre kravene. Det er nødvendig med en juridisk gjennomgang av ordlyden i gjeldende normaler og veiledere, for å vurdere mulighetene for en tydeligere ordlyd som vil etablere en presedens rundt et tiltaks influensområde, eksempelvis ved å fjerne «*ved behov*» fra Normaler. Se forslag i vedlegg 3.

Forbedringspunkter relevant for en håndbok fra Statens vegvesen vil være å løfte fram hele bildet knyttet til grunnvannssenkning og understreke flerfagligheten i problemstillingen, samt å gi spesifikke føringer for arbeidet. Videre bør det gjøres en grundig gjennomgang av erfaringsprosjekter også utover de vi her har diskutert, for å kunne løfte veiledningsmaterieell og beste bransjepraksis enda et nivå.

Regelverket presiseres at det skal jobbes tverrfaglig, men nåværende system gjør at det i stor grad jobbes enfaglig, og ikke nødvendigvis på tvers. Økologi er heller ikke nevnt som eget fag i krav til tverrfaglig samarbeid. Det anbefales derfor å se på hvordan man kan strukturere normaler med veiledere for å oppnå bedre tverrfaglig samarbeid, eller om normaler med veiledere skal bestå og heller utvikle en standard arbeidsstruktur i prosjektene, hvor også økologi inkluderes.

Da det i dag mangler en tverrfaglig akseptert standardmetode for hvordan å fastsette influensområdet, må det gjennomføres prosjekter som utvikler metodikk for dette. Til et slikt arbeid trengs det et grundig og omfangsrikt kunnskapsgrunnlag. Det må derfor parallelt med utvikling av en akseptert metodikk gjennomføres forskning på hvordan å etablere et felles og sammenlignbart kunnskapsgrunnlag for relevante prosjekter. Se videre beskrivelse i kap. 7.4.

#### 7.1.1 Publikasjon nr. 103

Publikasjon nr. 103 virker generelt utdatert, og det anbefales at den oppdateres, eller at det utarbeides en ny publikasjon hvor nye og flere prosjekter fra hele Norge inkluderes i datagrunnlaget. Metoder beskrevet i publikasjon nr. 103 er utdaterte med tanke på dagens teknologi for modellering, undersøkelsesmetoder, overvåkning, økologi, geofysikk og dagens kunnskap om innlekkasje. Det foreligger også mer informasjon om naturtyper, og det anbefales å se på muligheten for å kartlegge hvordan endring i grunnvannsnivå i fuktbevende natur påvirkes som følge av senket grunnvannsnivå. I tillegg er kartleggingsinstruks og metode for konsekvensutredning oppdatert siden 2003. Revidering eller en eventuelt ny publikasjon anbefales utført i forbindelse med et større forskningsprosjekt.

Dersom mulig, anbefales det at en ny publikasjon eller revidering sorterer erfaringstall etter geologi for på den måten å gjøre erfaringstallene enda mer «brukervennlige» for prosjekter forskjellige steder i landet med ulike geologiske forhold.

Publikasjon nr. 103 sier at det er nødvendig med en stor mengde måledata for å kunne si noe eksakt om grunnvannspåvirkning, men hvor mye data som anses som tilstrekkelig er ikke definert. Videre betyr det lite å ha store mengder med data dersom de ikke er strukturert godt og tolket riktig. Dette bør tydeliggjøres i en eventuell revidering eller ny publikasjon.

Informasjon som må inkluderes i en eventuell ny eller revidert publikasjon er svakheter ved målemetoder for innlekkasje sett opp mot faktiske innlekkasjer i sprekker/svakhetssoner, overvåkning av grunnvann i området til sprekker/svakhetssoner, overvåkning av grunnvann i hele influensområdet, overvåkning av vannivå i fuktkrevede naturtyper og bekker/elver.

## 7.2 Prosjekter

Prosjektgjennomgangen viser tydelig at sammenligning av prosjekter krever et sammenlignbart grunnlag. Det er usikkerhet knyttet til hva som finnes av relevante rapporter som ikke ble oversendt for de prosjektene som er gjennomgått i arbeidet med foreliggende rapport, og dette gjør det vanskelig å få full oversikt over vurderingene som er gjort i de ulike prosjektene. I videre arbeider er det derfor viktig å sikre et komplett grunnlag med rapporter fra de prosjekter som velges ut. Følgende fagrapporter bør foreligge komplett med revisjoner, vedlegg og relevant tilleggsinformasjon:

- Hydrogeologiske fagrapporter (prosjekteringsrapport, statusrapporter for oppfølging av vannovervåkning og eventuelle sluttrapporter)
- Geotekniske fagrapporter (særlig rapporter som inkluderer setningsvurderinger)
- Ingeniørgeologiske fagrapporter (innledende rapporter fra f.eks. forprosjekt, prosjekteringsrapporter og sluttrapporter)
- YM-planer og eventuelt andre rapporter som inkluderer vurdering av naturmangfold og forekomst/påvirkning på fuktkrevede naturtyper

Videre anbefales det at prosjektene som velges ut for videre arbeider er ferdigstilte (og under bygging dersom relevant), og at de i tillegg til overnevnte fagrapporter har gode overvåkningsdata fra før, under og etter utbygging samt oversikt over utførte tiltak (injisering, infiltrasjons, økologiske tiltak etc.). Dette er vesentlig for å kunne vurdere utstrekning av grunnvannspåvirkning sammenlignet med det antatte influensområdet samt vurdere effekt av utførte tiltak, som ville være avgjørende for å bestemme en *beste praksis*.

Prosjekter som det kan være aktuelle å se videre på, i tillegg til de som er beskrevet i foreliggende rapport, inkluderer følgende:

- Veidekke Moss
- Bybanetunnel Fyllingsdalen – Kronstad
- Sogn – Ulven (sikkerhetserklæring, må ev. avklares med Statnett)
- KRA Ålesund (renseanlegg avløpsvann i fjellhaller)
- E18 Fjellinjen Havelageret
- E18 Fjellinjen Filipstad
- E18 Fjellinjen Framnes
- E16 Brennetunnelen
- Rælingstunnelen
- Strindheimtunnelen
- Rikshospitalet (byggegrop og ledningstunneler)
- Fornebubanen
- Nyhavna Øvre

- KS-1 Hestnesttunnelen (se mer informasjon under)

For å kunne vurdere effekt av en tunnelutbygging og hvordan eventuelle avbøtende tiltak har motvirket negativ påvirkning på grunnvannet og dertil omkringliggende sårbare naturområder, brønner, bygninger, infrastruktur osv., er det viktig med hydrogeologiske statusrapporter og sluttrapport der måledata fra observasjonspunkter i grunnvann og ev. overflatevann/myrer etc. inkluderes og vurderes. Det oppleves at dette inkluderes til en viss grad i ingeniørgeologisk sluttrapport, men ettersom denne utarbeides like etter ferdigstillelse av tiltaket, kan det forekomme at treg respons i grunnvannet og dermed forsinket påvirkning på sårbare områder og elementer ikke fanges opp. Dersom det er kjennskap til prosjekter der dette foreligger, kan også disse være aktuelle for gjennomgang i neste fase.

For eksempel KS-1 Hestnesttunnelen kan være aktuell å inkludere i neste fase. Dette er en dobbeltsporet jernbanetunnel mellom Kleverud og Espa som er i drivefase. Bane NOR og Veidekke Entreprenør har i samarbeid med SINTEF og NGI utarbeidet en prosedyre for å tette tunnelprofilen (med unntak av sålen) ved hjelp av injeksjon slik at det kan benyttes sprøytebetongmembran som vann- og frostsikring, fremfor betongutstøpning som var planlagt løsning. For å verifisere fortløpende injeksjonsresultater utføres det systematisk vanntapsmåling på stuff, samt registrering av innlekkasje på stuff og bak stuff (terskler). Sammen med ingeniørgeologisk kartlegging og registrerte lekkasjemengder gir dette et unikt datagrunnlag for å sammenligne forholdet mellom vanntapsmåling, innlekkasje og geologi.

### 7.2.1 *Forskningsprosjekter*

Knyttet til geoteknikk og byggegrop er det samlet og systematisert store mengder data gjennom BegrensSkade/Remedy. Dette datasettet kan med fordel undersøkes videre og tilpasses inn mot formålet i arbeidet som undersøkes gjennom denne rapporten for Statens vegvesen. Kan f.eks. dataene fra Langford et al. (2022) ang. lav korrelasjon mellom målt innlekkasje og poretryksreduksjon utvides og undersøkes videre mot andre former for å sette grenseverdier knyttet til grunnvannsendringer? Med utgangspunkt i at det allerede er gjort et stort datainnsamlingsarbeid, er behovet for å gjøre en ren geoteknisk prosjektgjennomgang gjennom dette Statens vegvesen-prosjektet lite. Allikevel gjelder denne nye sammenstillingen en videreføring av sammenstilling fra publikasjon nr. 103, og omfatter tunnel i urbane områder, da i hovedsak Osloområdet. Altså gjelder sammenstillingen og resultatene poretryksreduksjon for tunnelprosjekter med løsmasser av marin leire med underliggende morene over berggrunn. Det trengs en vurdering av hvorvidt dette lar seg ekstrapolere til andre geologiske forhold.

Statens Vegvesen har valgt Multiconsult til å gjennomføre ett flerårig forsknings-, utviklings-, og innovasjonsprosjekt (FoUI) for å finne nye måter å dokumentere og måle endringer i økosystemer på prosjekt- og porteføljenivå som følge av utbygging. Gjennom dette er planen å skape nye verktøy og metoder som kan benyttes i miljøstyring av samferdselsprosjekter. Prosjektet omfatter å finne nye innovative måter å måle økosystemendringer på, men også om det finnes ubrukte muligheter i dataene og verktøyene som er utviklet av miljøforvaltning de siste fem årene. Multiconsult vil samarbeide med Norsk Institutt for Naturforskning (NINA) på prosjektet, som ansees som relevant med tanke på grunnvannspåvirkning og influensområde for grunnvann i vegprosjekter.

Det bør også vurderes om det finnes andre forskningsprosjekter som kan være relevante å se mer på i forbindelse med neste fase av dette arbeidet.

Under Fjellsprengningskonferansen 2023 (23. – 24.11.2023) presenterte NGI sine arbeider med utvikling av et GIS-verktøy for vurdering av innlekkasje og konsekvens. Dette verktøyet er ikke inkludert i grunnlaget for foreliggende rapport, men viser at problematikken er på agendaen og at det arbeides med digitale løsninger. Videre arbeider og forskning innen dette området bør utføres med tanke på å kunne utvikle en felles modelleringsplattform som inkluderer alle relevante fag.

### 7.3 Tverrfaglig samarbeid

Tverrfaglig samarbeid vurderes som et nøkkeltkriterium for å lykkes med gode hydrogeologiske vurderinger. For å oppnå dette anbefales det å se på hvilke verktøy som er best egnet til å etablere en felles modellbasert arbeidsplattform for relevante fag, gitt konklusjonene av arbeidet med foreliggende rapport. Aktuelle verktøy kan være BIM, GIS, LeapFrog etc.

Dagens system med regelverk og veiledere i vegprosjekter fordrer at det jobbes innen ett og ett fag. Dersom Statens vegvesen ønsker at det skal jobbes tverrfaglig i prosjekter, bør det utarbeides et system som muliggjør dette.

### 7.4 Influensområde

Det er behov for en tverrfaglig akseptert «beste praksis/standard metode» for definering av influensområdet. Så lenge det er åpning for ulik tolkning av minimumskrav til kartlegging og bestemmelse av et influensområde, er ikke det mulig. Dette fordi ulike vurderinger av nødvendig omfang av undersøkelser og i hvilke faser de gjennomføres, samt oppfølging gjennom anleggs- og driftsfase, i for stor grad vil påvirke pris, og er dermed utslagsgivende for tilbyders sjans til å vinne et oppdrag. Byggherre må således gjennom gjeldende regelverk være klar over sin rolle som bestiller og stille tydelige krav. Så lenge det ikke er definerte minstekrav, så vil omfang av undersøkelser og vurderinger i for stor grad være preget av å minimere kostnader.

Dersom det etableres en beste praksis/standard for bestemmelse av et tiltaks influensområdet, vil det være mulig å oppnå direkte sammenlignbare erfaringer mellom prosjekter. Det vil danne grunnlag for videre forskning mot en empirisk tilnærming til en tverrfaglig akseptert «beste praksis». Frem til det er etablert bør det utvikles en metode å ekstrahere universell data fra utførte og pågående prosjekter, som er uavhengig av metoden dataen er innhentet på.

Dersom det ønskes å definere en metode eller tydeligere definisjon av influensområdet, sees det som nødvendig å iverksette et nytt forskningsprosjekt tilsvarende Miljø- og samfunnstjenlige tunneler i perioden 2000-2003.

Det må vurderes om det ønskes en generell grense for influensradius basert på erfaringsdata, eller om influensområdet må estimeres spesifikt for hvert prosjekt. Dersom det er ønskelig å definere influensradius basert på erfaringstall, må det utføres en ny sammenstilling av erfaringsdata fra relevante prosjekter. I en eventuell ny sammenstilling av erfaringsdata anbefales det å gjøre en vurdering på om influensområder kan defineres avhengig av regionale geologiske forhold, og om det finnes tilstrekkelig datagrunnlag fra tidligere og pågående prosjekter som kan benyttes. Relevante data med tanke på økologi og fuktkrevende natur må også inkluderes. For fremtidige prosjekter som ønskes å benyttes i et slikt forskningsprosjekt anbefales det å starte overvåking av grunnvannsforhold minst ett år i forveien. Dersom man ikke finner relevante erfaringsdata, må man stille krav som tilsier at data blir tilgjengelig på sikt.

Mer detaljert estimering av influensradius reduserer usikkerheter knyttet til dette videre i et prosjekt, men med redusert usikkerhet vil også ansvarsfordeling mellom partene i prosjektet forskyves. Det er nødvendig å etablere en akseptabel fordeling av risiko/ansvar mellom alle parter

som ikke begrenser det økte potensialet for prosjektering/detaljprosjektering som et bedre datagrunnlag vil gi, men heller oppfordrer til det.

Videre anbefales det at influensområdet underveis i anleggsfasen av et prosjekt valideres og kontrolleres, ved at det utføres tilstrekkelig overvåking i hele influensområdet (jf. kap. 7.9). Dette gjelder også driftsfasen av veganlegget.

En bedre fastsettelse av grunnvannets influensområde er viktig for å unngå uforutsette konsekvenser i forbindelse med endrede grunnvannsforhold og negativ påvirkning på natur. Videre vil en bedre fastsettelse av innlekkasjekrav også bidra til redusert klimagassavtrykk ved bygging. Potensiale for reduksjon i klimagassavtrykk sett opp mot reduksjon av mengde injeksjon bør undersøkes.

## 7.5 Grunnundersøkelser

Tidlig i prosjektet må det utføres en tverrfaglig gjennomgang av hvilke grunnundersøkelser og eventuelle andre undersøkelser som er nødvendig, både med grunnlag i hva som er påkrevd og hva som utover det påkrevde vil heve kvaliteten på prosjekteringsgrunnlaget. Det anbefales å utføre grunnundersøkelser i hele influensområdet. Plan for undersøkelser og grunnundersøkelser må også omfatte fuktkrevende naturtyper og vassdrag, da spesielt med tanke på potensiale for grunnvannssenkning og påfølgende effekter.

Generelt anbefales det at hydrogeologiske undersøkelser omfatter flere undersøkelsesmetoder, for slik å verifisere resultater gitt geologiske variasjoner. Dette gjelder spesielt ved hydrogeologiske undersøkelser i berggrunn, hvor eksempelvis kvaliteten av pumpeforsøk og/eller vanntapsmålinger i hammerborehull kan optimaliseres ved først å utføre geofysiske borehullsundersøkelser.

Ved utførelse av vanntapsmåling, anbefales det at disse er basert på en detaljert borehullslogging som inkluderer sprekkekartlegging, slik at man har kontroll på hvilke sprekkesystemer som undergår testing. Vertikale borehull for vanntapsmålinger gir liten sannsynlighet for å treffe interessant sprekkesoner, med mindre man har god kontroll på sprekkesystemet i det aktuelle området. Det anbefales å se mer på potensiale for å utføre vanntapsmålinger på horisontale/vinklede borehull langs eller på tvers av tunneltrasé i forundersøkelser, samt på stuff i tunnel under anleggsperioden.

Pumpetester kan være en godt egnet metode for å undersøke grunnvannspåvirkning over et større område, forutsatt at stedlige forhold tillater det. Respons fra grunnvannsbrønner kan benyttes for å estimere hydrauliske egenskaper. Det må utføres både kortvarige brønnsesifikke pumpetester, og langvarige pumpetester for å undersøke magasin-/akviferegenskaper.

## 7.6 Vurdering av sårbare områder

Per i dag er det lite kunnskap om terskelverdier for grunnvannsreduksjon i fuktkrevende natur og hva som er akseptabel endring. Prosjekt/forskning bør igangsettes for å definere dette på en god faglig måte. Det anbefales å bedre kunnskapen om ulike naturtypers grunnvannsavhengighet og eventuelle akseptable nivå på grunnvannssenkning, eksempelvis gjennom et forskningsprosjekt.

Praksis med å benytte at 10% er akseptabelt er ikke godt nok. Dette må vurderes spesifikt for hvert område. Tåleevne til fuktkrevende natur varierer fra sted til sted. Dersom det er ønskelig å benytte en gitt grense på tåleevne, må dette eventuelt defineres gjennom et forskningsprosjekt.

Sårbare områder med tanke på setningsømfintlighet og vurderingen av slike områder, anbefales å samkjøre med prosjektene i regi av BegrensSkade.

## 7.7 Teoretiske analyser og modellering

Dersom det ønskes presise metoder for teoretisk tilnærming og beregning av influensområdet basert på geologiske forhold, må dette gjøres gjennom et forskningsprosjekt.

Rapport av Stein et. Al (2023) (51) viser gode resultater ved simulering av metrologiske data sammenlignet opp mot målte og simulerte poretryksverdier. Rapporten konkluderer med at metoden kan være nyttig ved daglig overvåking i forbindelse med tunneldriving, og at man av dette kan gjøre raske justeringer med tanke på behov for injeksjon. Studien i rapporten konkluderer med at metodikken og grunnlaget kan videreføres i fremtidige prosjekter. Det presiseres at studien omfatter tunnelprosjekter i Oslo-region, med leire og underliggende morene over berggrunn. Det bør undersøkes om metodikken benyttet i studien kan utføres for andre geologiske regioner i Norge.

Det anbefales å oppdatere databasen med tunnelprosjekter fra publikasjon nr. 103 fra andre områder enn bare urbane områder i Oslo-regionen.

## 7.8 Innlekkasjekrav

Per i dag foreligger det store usikkerheter ved kontrollmålinger for definerte innlekkasjekrav. Dette kommer av vanskeligheter med utførelse av målinger, samt at metoden for hvordan kontrollmålinger utføres varierer. Målinger av innlekkasje kan være utført over noen hundre til flere hundre meter. Dette til tross for at man er godt kjent med at innlekkasjer foregår i konsentrerte områder med krevende geologiske forhold. Måling med bømte på stoff i anleggsperioden medfører også usikkerheter i resultatene, da metodikk og presisjon kan variere.

Dersom det ønskes å benytte måling av innlekkasje i tunnel via målesterskler for å kontrollere at kravene tilfredsstilles, anbefales det å etablere en felles prosedyre for hvordan dette skal utføres. Målinger må kvalitetsikres og dokumenteres.

Rapport av Langford et. Al (2022) (52) viser fra sammenstilling av data fra 44 tunnelprosjekter i Oslo-regionen en svært dårlig korrelasjon mellom målt innlekkasje i tunnelen og opptredende poretryksreduksjon (og dermed influensområdet). Av dette anbefales det å undersøke om tilsvarende sammenstilling av data, innlekkasje og endringer i grunnvannsnivå/poretrykk, kan utføres for tunnelprosjekter lokalisert i andre geologiske og klimatiske områder enn Oslo-regionen.

Det anbefales å undersøke om det er mulig å styre injeksjonsomfanget etter overvåking av poretrykk eller grunnvannsstand under anleggsfasen, på en slik måte at det blir forutsigbart for entreprenør og Byggherre.

Det anbefales å utføre en gjennomgang av tunnelprosjekter for å undersøke om de definerte innlekkasjekravene ble ivaretatt, hvordan de ble fulgt opp og i hvilken grad de har gitt ønsket/tiltenkt effekt. Der hvor det ikke er oppnådd tilfredsstillende innlekkasjekrav, anbefales det å undersøke hva dette har medført av konsekvenser for det aktuelle området.

Det anbefales å se på om innlekkasjekravene som defineres er riktige, eller om de på generell basis settes for konservative gitt usikkerhetene man har i prosjektene. Videre må det vurderes om bestemmelse av innlekkasjerater skal baseres på nåværende arealbruk, eller om de i større grad skal hensynta fremtidig arealbruk og omkringliggende arealer. For lave krav vil kunne fordyre det neste prosjektet ved at områdets «buffer» i stor grad er brukt opp. Ved spesielt sårbare områder må man allerede som en del av reguleringsplanarbeidet, vurdere hvordan man skal vektlegge fremtidig arealbruk.



## 7.9 Overvåkning og oppfølging

Under anleggsfase for tunnel er det krav til måling av innlekkasje, men det er ikke stilt krav til måling/overvåkning av grunnvannsnivå/poretrykk. Det anbefales å se om det er entydig sammenheng mellom senkning i grunnvannstand og tetthetskrav (målt innlekkasje), ref. rapport av Langford et. Al (2022) (52).

For optimal utnyttelse av erfaringer fra pågående og fremtidige prosjekt, bør det foreligge en felles forståelse av behovet for systematisk overvåkning før, under og etter anleggsperioden. En systematisk overvåkning må omfatte en detaljert kartlegging av *før-status* både hva gjelder naturlige variasjoner, men også påvirkning fra nærliggende prosjekter. Overvåkingen må etableres i god nok tid til å detaljprosjektene prosjektspesifikke overvåkningsprogrammer for berørte fag gjennom anleggsperioden og deretter i driftsperioden. For bestemmelse av nødvendig varighet på overvåking i driftsfase, er det nødvendig å inkludere mulig påvirkning fra nærliggende prosjekter. Dette er ikke mulig uten en åpen deling av både erfaringsdata og *real-time data* mellom prosjekter og aktører.

Rapport av Langford et. Al (2022) (52) konkluderer med at det for å unngå uakseptabel poretrykksreduksjon, anbefales å fokusere på overvåking av poretrykk heller enn måling av innlekkasje i anleggsperioden. Dette er forenlig med hva foreliggende rapport har gjennomgått, at det i for liten grad utføres tilstrekkelig overvåking i anleggsperioden og at slike data blir i for liten grad benyttet til å vurdere akseptabel innlekkasje. Det anbefales at det defineres tydeligere krav til overvåking, og da i hele influensområdet som er definert. Det må også stilles krav til overvåking i driftsfasen. Per i dag foreligger det gode tekniske løsninger for sanntidsovervåking av både poretrykk og grunnvannsnivå.

## 7.10 Avbøtende tiltak

Generelt burde avbøtende tiltak ved skade og grunnvannssenkning vært bedre innarbeidet i regelverket. Det anbefales å utføre en gjennomgang av prosjekter hvor det er utført avbøtende tiltak, med formål å undersøke om utførte tiltak har vært tilstrekkelige og om det foreligger tilstrekkelig veiledning for hvordan man kan anvende f.eks. infiltrasjonsbrønner.

Videre kan det vurderes effekt, kostnad, utførelse, etc., for slik å kunne etablere en veileder til relevante tiltak relatert til ulike problemstillinger/forhold/geologi.

Siden 2015 har det vært stort fokus på restaurering av myr og man har fått mer kunnskap om hvilke tiltak som fungerer og hvilke som ikke fungerer like godt. Slik kunnskap anbefales å innarbeide i en eventuell ny veileder.

## 7.11 Rapportering

Det må foreligge en offentlig database for innrapportering og bruk av relevant og sammenlignbar data fra nasjonale prosjekter. Med grunnlag i en godt fungerende og åpen database, kan det være mulig å utvikle anbefalte metoder relatert til eksempelvis ulike geologiske, klimatiske og naturtypiske områder. I et mer utvidet perspektiv vil det også kunne relateres til internasjonale prosjekter og dertil få betydelig økt datainnsamling. I begge tilfeller, nasjonalt og internasjonalt, vil behovet for en teknisk og brukervennlig databaseløsning være essensielt.

Det må etableres en velfungerende database der det er enkelt å laste opp og finne fram til/laste ned eksisterende rapporter fra Statens vegvesen sine prosjekter. I databasen Rapportweb anbefales det å legge til hydrogeologi som eget fagtema.

Det må defineres tydeligere krav til at det skal dokumenteres hydrogeologiske rapporter, overvåkningsprogrammer, samt tilhørende sluttrapporter.

## 7.12 Felles modellverktøy

Som nevnt i konklusjonen kan det være fordelaktig om samtlige fag får inkludert, og illustrert, sine problemstillinger i en felles modell. Dette kan være et sentralt verktøy for å oppnå den tverrfagligheten som influensområde-problemstillingen krever.

Berg og svakhetssoner modelleres allerede i 3D i f.eks. Leapfrog, det samme gjør geotekniske, hydrologiske og miljøgeologiske forhold. Remedy/BegrensSkade 2 har utviklet et GIS-verktøy for å kvantifisere risiko for bygningsskader i forbindelse med gravearbeider, og det utarbeides YM- og marksikringsplaner. Samtidig utvikles mye av prosjektene i klassiske BIM-modeller. Det meste gjøres allerede per i dag i modellverden, men ikke nødvendigvis i verktøy som kommuniserer sammen på en enkel måte.

På bakgrunn av dette anbefales det å se på muligheten for å samkjøre de ulike fagenes modeller i en felle løsning, og at denne benyttes aktivt som en oppdatert samhandlingsarena.

## 8 Referanser

1. **Statens vegvesen.** *N500 Vegtunneler, gyldig fra 2022-03-31.* [Internett] [Sisert: 26. oktober 2023.] <https://viewers.vegnorm.vegvesen.no/product/859938/nb>.
2. —. *N200 Vegbygging, gyldig fra 2022-11-01.* [Internett] [Sisert: 26. oktober 2023.] <https://viewers.vegnorm.vegvesen.no/product/859942/nb>.
3. **Lovdata.** *Lov om vassdrag og grunnvann (Vannressursloven):* <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2000-11-24-82>.
4. —. *Lov om forvaltning av naturens mangfold (naturmangfoldloven):* <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2009-06-19-100>.
5. **Statens vegvesen.** *Miljø- og samfunnsfaglige tunneler. Publikasjon nr. 103 Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø.* Oslo : Statens vegvesen Teknologivdelingen, 2003.
6. —. *Håndbok V271 Vegetasjon i veg- og gatemiljø.* 2016.
7. **Norsk Standard.** *NS-EN 1997 Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering.* 1997.
8. **Statens vegvesen.** *N-V521 Geologi og bergsikring i tunnel.* [Internett] [Sisert: 26. oktober 2023.] <https://viewers.vegnorm.vegvesen.no/product/859958/nb>.
9. —. *Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. SVV rapport nr. 41/NGI rapport 20031321-1. Sammenheng mellom grunnvannssenkning og tunnellekkasje.* 2003.
10. **Standard Norge.** *NS 3466 Miljøprogram og miljøoppfølgingsplan.* 2009.
11. **Norsk forening for Fjellsprenningsteknikk.** *Håndbok nr. 6 Praktisk berginjeksjon for underjordsanlegg.* s.l. : NFF, 2010.
12. **Norsk Geoteknisk Forening.** *Byggegropveiledningen.* 2019.
13. **Aker, P. og Johansen, M.D.** *Rapport nr. 423. Når vegen berører myra: God forvaltning av myr i vedplanlegging, bygging og drift.* Statens vegvesen : s.n., 2015.
14. **Statens vegvesen.** *Håndbok R211 Feltundersøkelser.* 2021.
15. —. *Håndbok V221 Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger.* 2014.
16. —. *E16 Sandvika-Skaret. Bjørum-Skaret.* [Internett] [Sisert: 12. oktober 2023.] <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/europaveg/e16barum/bjorum-skaret/>.
17. **Rambøll Norge AS og COWI AS.** *E16 Bjørum-Skaret. Hydrogeologisk fagrappport.* 2020.
18. **Statens vegvesen.** *E18 Vestkorridoren.* [Internett] [Sisert: 12. oktober 2023.] <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/europaveg/e18vestkorridoren/>.
19. **Aas-Jacobsen AS og Norges Geotekniske Institutt.** *V\_717 E18 Vestkorridoren, Lysaker - Ramstadsletta. Byggeplan. Tetthetskrav for Høviktunnelen og Gjønne tunnelen.* 2020.
20. **Statens vegvesen.** *E18 Lysaker-Ramstadsletta.* [Internett] [Sisert: 12. oktober 2023.] <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/europaveg/e18vestkorridoren/lysaker-ramstadsletta/>.
21. **Aas-Jacobsen AS og Norges Geotekniske Institutt.** *V\_603 E18 Vestkorridoren, Lysaker - Ramstadsletta. Byggeplan. Grenseverdier og tiltaksnivå for poretrykksreduksjon ved Høviktunnelen (E103).* 2023.
22. —. *V\_599 E18 Vestkorridoren, Lysaker - Ramstadsletta. Byggeplan. Grenseverdier og tiltaksnivå for poretrykksreduksjon ved Ramstadsletta (E103).* 2023.
23. **Norconsult AS.** *NV42E18YR-GEO-RAP-0004 Detaljregulering E18 Ytre ringvei. Fagrappport hydrogeologi.* 2023.
24. **Nye Veier AS.** *E18 Ytre ringvei. Om prosjektet.* [Internett] [Sisert: 13. oktober 2023.] <https://www.ytringvei.no/om-prosjektet/>.
25. **Norconsult AS.** *NV42E18YR-GEO-RAP-0001 Detaljregulering E18 Ytre ringvei. Fagrappport ingeniørgeologi.* 2023.
26. —. *NV42E18YR-GTK-RAP-0002 Detaljregulering E18 Ytre ringvei. Fagrappport geoteknikk.* 2023.
27. —. *NV42E18YR-PLA-RAP-0007 Detaljregulering E18 Ytre ringvei. Ikke-prissatte konsekvenser.* 2023.
28. **Nye Veier AS.** *E39 Kristiansand vest - Mandal øst.* [Internett] [Sisert: 13. oktober 2023.] <https://www.nyeveier.no/prosjekter/e39/e39-kristiansand-vest-mandal-ost/>.
29. **Norconsult AS.** *RA-INGGEO-001 E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Prosjekteringsrapport Mjåvannsheitunnelen. Ingeniørgeologi og hydrogeologi. Rev. c03.* 2019.
30. —. *RA-INGGEO-003 E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Prosjekteringsrapport Lindelitunnelen. Ingeniørgeologi og hydrogeologi. Rev. c04.* 2019.
31. —. *RA-INGGEO-002 E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Prosjekteringsrapport Søgnetunnelen. Ingeniørgeologisk og hydrogeologisk rapport. Rev. c04.* 2019.
32. —. *RA-INGGEO-005 E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Prosjekteringsrapport Bruliheitunnelen. Ingeniørgeologisk og hydrogeologisk rapport. Rev. c03.* 2019.
33. —. *RA-INGGEO-004 E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Prosjekteringsrapport Volleberg tunnelen. Ingeniørgeologisk og hydrogeologisk rapport. Rev. c03.* 2019.
34. **Rambøll Norge AS.** *RAP-013 E39 Kristiansand vest - Søgne øst. Ingeniørgeologisk rapport.* 2017.

35. **Biofokus.** *Rapport 2017-11 Kvalitetssikring av naturverdier langs nye E-39 gjennom Søgne og Mandal kommuner.* 2017.
36. **Statens vegvesen.** *E39 Sveгатjørn-Rådal er åpnet.* [Internett] [Sisert: 16. oktober 2023.] <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/europaveg/e39svegatjornradal/>.
37. **Jordforsk.** *Rapport nr. 41/05 Hydrogeologiske vurderinger ved E39 Sveгатjørn - Rådal, Bergen. Sårbarhet, vannbalanse og lekkasjekriterier.* 2005.
38. **Statens vegvesen.** *Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Publikasjon nr. 41 Sammenheng mellom grunnvannssenkning og tunnellekkasjer.* 2004.
39. **Direktoratet for naturforvaltning.** *DN-håndbok 13.* 2015.
40. **Miljødirektoratet.** *M-2209 Kartleggingsinstruks 2023. Kartlegging av terrestriske naturtyper etter NiN2.* 2023.
41. **Statens vegvesen.** *Håndbok V712 Konsekvensanalyser.* 2018.
42. **Miljødirektoratet.** *Veileder M-1941 Konsekvensutredning av klima og miljø.* [Internett] [Sisert: 26. oktober 2023.] <https://www.miljodirektoratet.no/konsekvensutredninger>.
43. **Karlsrud, K.** *BegrensSkade delrapport nr 1+2.5, 2016-05-25. Metoder for vurdering av skader på bygninger som følge av deformasjoner i grunnen.* 2015.
44. **Kveldsvik, V. et.al.** *Planning of a 25km long water supply tunnel in an environmentally sensitive area.* s.l. : NFF, 2001.
45. **Statens vegvesen.** *Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Publikasjon nr. 14 Konsekvenser av tunnellekkasjer for det ytre miljø. Statusrapport.* 2001.
46. **Norconsult AS.** *RA-INGGEO-010 E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Ingeniørgeologisk sluttrapport Mjåvannsheitunnelen. Ver. Z05.* 2022.
47. —. *RA-INGGEO-011 E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Ingeniørgeologisk sluttrapport Lindelitunnelen. Ver. Z05.* 2022.
48. —. *RA-INGGEO-012 E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Ingeniørgeologisk sluttrapport Søgnetunnelen. Ver. Z04.* 2022.
49. —. *RA-INGGEO-013 E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Ingeniørgeologisk sluttrapport Volleberggtunnelen. Ver.Z01.* 2022.
50. —. *RA-INGGEO-014 E39 Kristiansand vest - Mandal øst. Ingeniørgeologisk sluttrapport Bruliheitunnelen. Ver. Z01.* 2022.

## Vedlegg 1 Oppsummering av krav til forundersøkelser mtp. hydrogeologi i N500

Henvising i N500	Aktuelle tema mtp. hydrogeologi	Forundersøkelser	Tidlig planfase	Kommunedelplan	Reguleringsplan	Konkurransgrunnlag
Kap. 2.1	Innhenting relevant informasjon om grunnforhold langs traseen (arkivert materiale, faglitteratur, feltkartlegging, erfaringer fra nærliggende prosjekter/områder, borer, geofysiske undersøkelser.	X	X			
	Vurdering av arealer som påvirkes av tunnelen mtp. skadelig grunnvannssenkning	X	X			
	Vurderer arealer som påvirkes av tunnelen mtp. setninger	X	X			
	Vurderer arealer som påvirkes av tunnelen mtp. miljøskadelig avrenning	X	X			
	3D-modell med informasjon fra geologiske forundersøkelser og informasjon	X	X			
Kap. 2.2	Kartgrunnlag (innhold av elver, bekker og vann, dybdekoter der vann ligger nær traseen)	X				
	Geologisk 3D-modell					
Kap. 2.4.	Innsamling og vurdering av eksisterende informasjon (NGU, fagartikler, brønndatabase, etc.), tidligere utførte undersøkelser.		X			
	Geologisk informasjon fra eventuelle nærliggende anlegg eller eksisterende tunneler.		X			
	Lineamentsanalyse		X			
	Vurdering av arealer som påvirkes av tunnelen mtp. skadelig grunnvannssenkning		X			
	Vurderer arealer som påvirkes av tunnelen mtp. setninger		X			
Vurderer arealer som påvirkes av tunnelen mtp. miljøskadelig avrenning		X				
Kap. 2.5.	Kartlegging av løsmasser og berg i dagen, svakhetssoner og strukturetninger i berget			X		
	Felt- og grunnundersøkelser			X		
	Bergmassen:			X		
	<i>Bergarter og bergartsgrenser</i>			X		
	<i>Lagdelling og foliasjon</i>			X		
	<i>Sprekkemønster og sprekke tetthet</i>			X		
	<i>Svakhetssoner</i>			X		
	<i>Lineamentstudier fra kart/oversiktsfoto/digitale karttjenester</i>			X		
	<i>Omfang av dypforvitring</i>			X		
	<i>Behov for detaljert undersøkelse av miljøfarlig bergmasse</i>			X		
	Løsmasser, typer og mektighet			X		
	Bergoverdekning			X		
	Hydrologiske og hydrogeologiske registreringer:			X		
	<i>Måleprogram for grunnvannsnivå og poretrykk der dette er nødvendig, inkludert registrering av vannreservoar og myrområder, samt årstidsvariasjoner for disse.</i>			X		
	<i>Sårbarhet i flora og fauna</i>			X		
	<i>Kartlegging av setningsømfintlige områder</i>			X		
	<i>Etablering av krav til begrensning av innlekkasje i de ulike deler av tunnelen, basert på poretrykkmålinger og tolkning av skadepotensiale.</i>			X		
	<i>Fastssettelse av influensområde.</i>			X		
	Identifikasjon av bergarter som kan føre til sur eller giftig avrenning			X		
	Behov for og gjennomføring av geofysiske undersøkelser (geofysisk borehullsøgging)			X		
	Behov for og gjennomføring av kjerneboringer eller andre typer borehullsinspeksjoner			X		
	Der det er igangsatt et måleprogram for grunnvannsstand og poretrykk skal det foretas hyppige registreringer for å dokumentere de naturlige variasjoner over tid, f. eks. med månedlige intervaller.				X	
Kap. 2.6.	Dokumentere influensområder mtp. grunnvannssenkning og fare for setninger				X	
	Kartlegging av løsmasser: tykkelse og setningsømfintlighet.				X	
	Registrering av fundamenteringsforhold for byggverk.				X	
	Vurdering av aktuelle tiltak for å oppfylle fastsatte lekkasjekrav.				X	
	Vurdering av miljømessige konsekvenser ved avrenning fra tunnel.				X	
Kap. 2.7.	Supplerende grunnundersøkelser og kartlegginger av f. eks. måleresultater fra omgivelsene (grunnvann og setninger).					X

## Vedlegg 1 Oppsummering av krav til forundersøkelser mtp. hydrogeologi i N500

Tillegg A V521	Beskrivelser av bergarter, foliasjon, strukturer og andre geologiske observasjoner
	Analysen av sprekke tetthet og sprekkeorientering. Sprekkerose og stereoplott.
	Resultater av grunnboring.
	Resultater av eventuelle kjerneboringer.
	Resultater av eventuelle geofysiske undersøkelser.
	Resultater av eventuelle andre undersøkelser og målinger
	Spesielle lokale hensyn
	Utførte feltkartlegginger
	Undersøkelser generelt
	Løssamsser og geotekniske forhold. Konsekvenser for skredfare, setninger og miljø.
	Hydrogeologiske forhold, eventuelle brønner og vannmagasiner.
	Anbefalt innlekkasjenivå for å unngå skadelig poretrykkssenkning.
	Påpekning av usikkerheter eller spesielle risikoer
	Referanseliste alle rapporter som rapporten bygger på.

Vedlegg 2: Sammenstilling av informasjon fra prosjekter som er gjennomgått

Tema	E18 LR	E18 YRK	E39 KrM	E39 SR	E16 BS
<b>Generell informasjon</b>					
Byggherre	Statens vegvesen	Nye Veier	Nye Veier	Statens vegvesen	Statens vegvesen
Byggestart	2020	Ikke kjent	2018	2016	2021
Ferdigstillelse	2029/2030	Uavklart	2022	2022	2025
Når er hydrogeologiske vurderinger utført	2020	2022	2018	2005	2019
Hvem har gjort hydrogeologiske vurderinger	NGI	Norconsult	Norconsult	Jordforsk (2005) og COWI (2009,2014)	Rambøll/COWI
Hvem har gjort ingeniørgeologiske vurderinger	NGI	Norconsult	Norconsult	Ikke kjent	Rambøll/COWI
Hvem har gjort geotekniske vurderinger	NGI	Norconsult	Sweco (2016, trasé Søgne øst - Mandal øst) og Rambøll (2017, Kristiansand vest - Søgne)	Ikke kjent	Ikke kjent
Hvem har gjort vurdering av naturmangfold/biologi	Ikke utført	Norconsult	Norconsult	Jordforsk i 2005	Ikke kjent
Er tunnel i områder med tett bebyggelse eller uberørt	Tett bebyggelse	Bebyggelse og uberørt natur	Kupert terreng med mye berg i dagen og tversgående myrfylte dalsøkk	Uberørt natur, vannverk, tett bebyggelse	Ikke kjent
Tunnel	X	X	X	X	X
Veg i dagen	X	Noe	X	X	X
Byggegrep	X				
Type prosjekt: Tunnel, veg i dagen, byggegrep	Tunnel, veg i dagen og byggegrep	Hovedsakelig tunnel med noe veg i dagen	Tunnel, veg i dagen	Tunnel, veg i dagen	Tunnel, veg i dagen
Er konflikt med andre nærliggende prosjekter vurdert?	Ikke kjent	Erfaringer fra andre nærliggende tunnelanlegg (Baneheitunnelen, Prestehaitunnelen, tunnelene i E39 Kristiansand vest - Mandal øst og Oddernestunnelen) er nevnt, men det er ukjent om det påvirker vurdering av innlekkasjekrav	Ikke kjent	Nevnt infrastruktur til vannverk (overføringstunneler, drencsystemer), men kun vurdert selve drikkevannskilden og ikke overføringstunneler. Vurdert påvirkning til FSG fjellhaldeponi, innlekkasje forurenset grunnvann til tunnel. Vurdert nærhet til fremtidig Bybanetunnel.	Grunnvann i området er benyttet som vannkilde for private boliger og to kommunale vannverk
<b>Undersøkelser/Grunnundersøkelser</b>					
Type undersøkelser/grunnundersøkelser	Vanntapsmålinger ved installasjon av infiltrasjonsbrønner Ødometerforsøk Trykksonderinger InSAR Poretrykksmålere	Hammerborhull (23 stk) Pumpefest i hammerborhull Borkaksprøver Vanntapsmålinger Geofysisk borhullslogging Akustisk profilering Refraksjonsseismikk Resistivitetsmålinger (ERT) Totalsonderinger Trykksonderinger Prøvetaking Poretrykksmålere (6 lokaliteter) Løsmassebrønner (2 stk) Ingeniørgeologisk feltkartlegging Innmåling av berg i dagen og bergblotninger Kjerneboring	Ingeniørgeologisk kartlegging Totalsonderinger Enkle sonderinger Prøvetaking løsmasser (glødetap, vanninnhold, kornfordeling, frisvellingstest av leirmateriale) og berg Kjerneboring Droneflyvning Vannnivå målt i borpunkter Elektrisk resistivitet Georadar Befaring (hydrogeolog)	Hydrogeologisk befarung i 2004. Boret 25 fjellbrønner, 5 løsmassebrønner, 11 myrbrønner. Installert dataloggere i 22 fjellbrønner og 7 løsmassebrønner for temp. og vannstand (minidiver), sammenlignet med lufttemp. Korttids pumpefest i borehull til å finne K-verdi.	Registrering av brønner Grovhullsboringer (totalt 19 brønner) Manuelle målinger av grunnvannsstand Geofysisk borhullslogging Automatisk logging av grunnvannsnivå, temperatur og til dels elektrisk konduktivitet Hydrogeologisk modellering Kjemisk analyse av vannprøver Vanntapsmålinger

**Avrop U279 - Influensområde grunnvann**

Tidspunkt	perioden 2013-2018 (flest i 2016-2018)	I reguleringsplan og tidligere.	Kommunedelplan, reguleringsplan Forprosjekt (ingeniørgeologisk kartlegging)	2014	Fra oktober 2019 var det komplett overvåkning av alle observasjonspunkt.
Koordinert mellom ulike fagområder?	Ikke kjent	Ikke kjent	Ikke kjent	Ikke kjent	Ikke kjent
Utført hydrogeologiske undersøkelser? (annet enn grunnvannsovervåkning)	Ja. Vanntapsmålinger	Ja. Vanntapsmålinger og pumpetest.	Ikke kjent	Ja, korttids pumpetest og registrering av temperatur og grunnvannsnivå.	Ja, kjemisk analyse av vannprøver, vanntapsmålinger og geofysisk borhullslogging. I tillegg er det utført hydrogeologisk modellering.
Hvordan rapporteres grunnundersøkelser?	I ingeniørgeologiske/geotekniske fagrapporter	I ingeniørgeologiske/geotekniske fagrapporter	Geotekniske og ingeniørgeologiske datarapporter	Egne hydrogeologiske rapporter.	Hydrogeologisk fagrapport (og trolig i egne datarapporter for noen av undersøkelsene, men dette er ikke kjent/oversendt)
<b>Geologi</b>					
Bergartstype	Tunnelene vil gå gjennom leirskifer, leirskifer med kalksteinskuller og -lag samt knollekalk. Leirskiferen og knollekalken gjennomskjæres av et stort antall eruptivganger.	Grunnfjellet domineres av prekambriske bergarter som granitt og gneis. Basert på ingeniørgeologisk kartlegging går tunnelen gjennom amfibolittisk gneis, granittisk gneis, glimmergneis, båndgneis, øyegneis og epidotførende gneis.	Tunnelene går igjennom ulike varianter av gneis. I tillegg finnes det middelskornet kalifeltspat- og kvartsrik granitt samt grovkornet pegmatitt.	Bergartene i traséen varierer mye der det i nord er størkningsbergarter, gabbro og anorthositt, mens det lenger sør er sedimentære bergarter som veksler.	Tunnelene vil hovedsakelig gå gjennom ulike lavastrømmer av rombeporfy, men vil også krysse de sedimentære lagene som ligger mellom lavastrømmene og de spredte gangbergarter av diabas og syenitt. Helt sør i prosjektområdet består berggrunnen av skifer og kalkstein
Løsmasser	Tiltaksområdet ligger under marin grense. Det er registrert flere dyprenner og løsmassene i dyprennene består generelt av et mindre lag fyllmasse og/eller tørrskorpeleire over meget bløt siltig leire til berg. Leira er stedvis kvikk.	I heiområdene er det typisk bart berg eller tynt torvdekke på toppene, og morenedekke i bunnen av dalsøkkene samt enkelte partier med torv og myr. I flattliggende områder er det marine avsetninger, elv- og brelvavsetninger og urmasser. Det er kvikkeleire i flere områder.	Området er preget av søkk og daler. Det er hovedsakelig et tynt humus- og torvdekke samt en del små og store myrområder. Noen områder har sandrike brelvavsetninger over marine avsetninger (leire eller kvikkeleire) med varierende mektighet. Morene forekommer også.	Det er lite løsmasser langs tunneltraséen da det stort sett er berg i dagen med myrer, tynne moreneavsetninger og skredmateriale. Myrene har varierende mektighet med de største tykkelsene i lokale forsenkninger.	Marine avsetninger av varierende mektighet, humusdekke/tynt torvdekke, elve- og bekkavsetninger, noen partier med bart berg og noen mindre områder med forvitningsmateriale.
<b>Overvåkning</b>					
Er det installert PZ/grunnvannsløggere?	Ja. Poretrykksmålere.	Ja. Poretrykksmålere, grunnvannsløggere i hammerborhull, vannstandsmålere i tjern	Ja. Bergbrønner for overvåkning ved Søgnetunnelen, Lindelitunnelen, Volleberg tunnelen og Bruliheitunnelen	Ja. Det er boret 25 bergbrønner, 5 løsmassebrønner og 11 myrbrønner. Installert dataloggere i 22 fjellbrønner for registrering av temperatur og vannstand. I tillegg er det registreringer i 7 brønner i løsmasser og i myrer.	Ja, det ble installert grunnvannsløggere i de 19 nye brønnene, 1 kilde, 2 gravde brønner og 9 eksisterende borehull. I tillegg ble det installert loggere for måling av vannnivå og temperatur i Holmevannet/Niskinnvannet og Tjernslitjernet.
Tidspunkt (forkant/underveis)	I forkant og muligens underveis	I forkant av bygging (2021-2022)	Stort sett i forkant av byggestart, men hvor lenge før varierer fra noen uker til et snaut år	Forkant og underveis.	I forkant av bygging (komplett overvåkning av alle observasjonspunkt fra oktober 2019).
Er det utarbeidet overvåkningsprogram?	Ja. Det er etablert et overvåkingsprogram for måling av poretrykk ved berg og i løsmasser og setninger på bygninger over tunnelen og ved byggegrøp. Poretrykksovervåkning vil følges opp minimum ukentlig. Det er satt varslings- og alarmnivåer på poretrykksmålere.	Det er kommet med anbefalinger av hva som burde gjøres, men detaljer for oppfølging i byggefasen er ikke fastsatt.	Det virker slik, for overvåkning i anleggsperioden.	Det er ikke mottatt overvåkingsdata. Men Multiconsult har utført arbeidet med overvåkning av grunnvann og miljø for prosjektet, og vet derfor at det er utført i perioden 2015-2023.	Ja



Avrop U279 - Influensområde grunnvann

Beskrevet behov for overvåkning i etterkant i driftsfase?	Ikke kjent	Ja. Overvåkning av grunnvannsstand, poretrykk, vannstand i tjern og setninger bør pågå minimum 1 år inn i driftsfasen.	Ikke kjent	Ja, i 2005 ble behov for observasjoner av grunnvannstand i influensområdet 2-3 år etter endt anleggsfase beskrevet.  Multiconsult har hatt kontrakt med SVV å gjennomføre overvåkning av grunnvann og miljø både gjennom anleggsperioden og i etterkant av anleggsperioden. Det er utført overvåkning i ca. 1-2 år etter endt anleggsfase.	Ikke kjent
Er det tilstrekkelig datakvalitet til å sammenligne forventet/beregnet grunnvannspåvirkning med registrert grunnvannspåvirkning.	Ikke kjent	Ikke kjent	Ikke kjent	Trolig. Det må gjennomgås data fra overvåkning av grunnvann og miljø utført av multiconsult. Det er i alt utarbeidet ca. 320 statusrapporter, årsrapporter og sluttrapporter. Det foreligger komplette Excel-ark med måledata som ble oversendt Byggherre som en del av oppdraget.	Ikke kjent
<b>Influensområde</b>					
Er antatt influensområde definert?	Ja	Ja, basert på sprekkesoner	Indirekte	Delvis, definert risikoområder for grunnvannsenkning basert på geologi, sprekkesoner og topografi.	Ja, via grunnvannsmodellering
Er influensområdet vurdert basert på erfaringstall (f.eks. fra rapport nr. 103)?	Ja. Rapport nr. 103 og områdets geologi.	Delvis, men svakhetene ved dette er belyst slik at influensområdet er satt til 600 m langs markante svakhetssoner og 300 m mellom sonene.	Ikke kjent	Rapport nr. 103 er nevnt, men ikke brukt ifm. definering av influensområdet.	Nei
Er influensområdet empirisk beregnet?	Nei	Ja, med data fra hammerborhull (vanntapmålinger). I tillegg er det utført lang-tids pumpetest.	Ikke kjent	Ja	Grunnvannsmodellering
<b>Sårbar e natur områder</b>					
Er sårbare naturområder kartlagt?	Ja	Ja	Ja	Ja, sårbare naturtyper som myrområder og vegetasjon avhengig av grunnvann, tjern/innsjøer.	Kun overflatevann og myrer
Er det identifisert fuktrevende naturtyper innenfor influensområdet?	Nei	Ja	Ja. Det er tidligere utført kartlegging av naturverdier langs planlagt E39. Dette er rapportert i egen rapport (Høitomt, L. E., Lønnve, O. J. og Olberg, S. (2017) Kvalitetssikring av naturverdier langs nye E-39 gjennom Søgne og Mandal Kommuner. Oslo: BioFokus). Se også mer i rapport RA-INGGEO-003 Prosjekteringsrapport Lindelitunnelen.	Ja	Nei, ikke utover myrområder
Er fuktrevende naturtyper vurdert i detalj?	Nei	Ja, i hydrogeologisk fagrappport og rapport for ikke-prissatte konsekvenser.	Ja	Ja. Det er gjort en vurdering på hvor stor senkning i cm våtmark/myrområde kan tåle.	Nei
Datagrunnlag for vurdering av sårbare områder (befaring/offentlige kart)	Ikke kjent	Befaring og kartlegging, offentlige kart	Befaring, offentlige kart	Offentlig kartlegging etter DN-håndbok 13 (2005)	Ikke kjent
Er sårbar natur styrende for fastsettelse av innlekkasjekrav?	Nei	Ja	Ja	Ja	Kun overflatevann og myrer
<b>Setningsproblematikk</b>					

Avrop U279 - Influensområde grunnvann

Er setningsømfintlige områder kartlagt?	Ja. Kartlagt med InSAR	Ja	Ja	Ikke kjent	Ikke kjent
Er setningsproblematikk styrende for innlekkasjekrav?	Ja	Ja	Nei	Ikke kjent	Ikke kjent
<b>Analysér</b>					
Er det utført teoretiske analyser mtp innlekkasjekrav?	Nei	Ja, men det baserer seg på resultater fra kort-tids og lang-tids pumpeforsøk.	Ja	Ja, benyttet formler for å beregne sårbarhetsindeks og derav influensradius (Jordforsk) Brukt formler som Goodman og som angitt i nr. 103 (Cowi)	Delvis basert på hydrogeologisk modellering og delvis på informasjon fra kjerneborhull, svakhetssoner, observasjoner av grunnvannsstand og kritiske områder.
Hvilke analyser er utført?		Empiriske beregninger for tålgrense av sårbar natur, Karlsruds ligning for beregning av innlekkasje i tunnel	Empiriske beregninger av innlekkasje i tunnel og utstrekning av influensområde	Benyttet brønndata fra NGU for å si noe om forventet innlekkasje. Benyttet to ulike formler basert på vinkel, sprekkeeffekt, permeabilitet, og avstand tunnel. Vannbalanse Beregnet tunnellekkasje i % av nedbørfeltavrenning. Benyttet Goodmans ligning til å beregne lekkasje til tunnel.	Hydrogeologisk modellering
Benyttes regel om 10% påvirkning i vassdrag/myrområde?	Ikke relevant	Ja	Ja	Delvis, men presiserer det ikke eksplisitt. Vurderer hver enkelt nedbørsfelt og hva tunnellekkasje utgjør i dem (Jordforsk, 2005).	Ikke kjent
Henvises det til rapport nr. 103?	Ja	Ja	Ja	Nei (ikke i jordforsk) Ja, men brukes først og fremst for å beskrive tema innlekkasje til tunneler (i Cowi-rapport). Bruker erfaringstall 300 m til hver side for én av tunnelene (Cowi-rapport).	Nei
Er det utført hydrogeologisk modellering?	Nei	Nei	Nei	Nei	Ja
<b>Innlekkasjekrav</b>					
Er det satt krav til innlekkasje på hele eller deler av strekningen?	Deler av strekningen	Deler av strekningen	Hele strekningen	Hele strekningen men med ulike klasser.	Hele strekningen men med ulike klasser.
Hvilket innlekkasjekrav er satt?	5 l/min/100 m for Høviktunnelen generelt og 3 l/min/100 m i et mindre strekke der Høviktunnelen og Gjønnestunnelen har overlappende influensområder (samlet for begge tunnellopp) 5 og 10 l/min/100 m for Gjønnestunnelen generelt og 2 l/min/100 m i et mindre strekke der Gjønnestunnelen og Høviktunnelen har overlappende influensområder (samlet for begge tunnellopp)	3, 5, 7, 10 og 20 l/min/100 m.	Vollebergertunnelen, 5 og 10 l/min/100 m for Bruliheitunnelen og 15 l/min/100 m for Mjåvannsheitunnelen Prosjektering: 20 l/min punktlekkasjer (per injeksjonsskjerm) for Mjåvannsheitunnelen, 5, 10 og 15 l/min/100 m for Bruliheitunnelen, 5 l/min/100 m for Vollebergertunnelen, 3, 5 og 15 l/min/100 m for Søgnetunnelen (mens det for dimensjonering av VA-anlegg er forutsatt innlekkasje på 10 l/min/100 m per tunnellopp (20 totalt))	5, 10 og 25 l/min per 100 m for begge tunnellopp, avhengig av sårbart område (Jordforsk). Satt krav til maksimal endring i grunnvannsnivå på 10 cm/døgn i enkelte områder (Cowi, 2009) Mellom 5-20 l/min pr 100 m for hvert tunnellopp avhengig av sårbarhet (Cowi).	For Sollihøgdatunnelen er det satt 5, 10 og 20 l/min/100 m og for Bukkesteinshøgdatunnelen er det satt 10 og 20 l/min/100m.

**Avrop U279 - Influensområde grunnvann**

Er det beskrevet hvordan innlekkasje skal følges opp?	Det følges opp ved omfattende og systematisk forinjeksjon med kontrollhull samt tett oppfølging under anleggsarbeidene.	Avhengig av innlekkasjekrav anbefales det systematisk forinjeksjon og behovsprøvd forinjeksjon med systematisk sonderboring foran stuff samt etterinjeksjon i svært sårbare områder.	Behovsprøvd eller systematisk forinjeksjon	Ja. Måling innlekkasje i tunnel utføres ukentlig eller etter nærmere vurdering ut fra lekkasje på stuff. I tillegg til måling i tunnelen etableres det målepunkt ved påhugg. Ved driftsstans tas det i tillegg vannprøver som tas månedlig.	Nei, ikke i den hydrogeologiske fagrapporten
Er det beskrevet hvordan innlekkasjekrav skal måles?	Kontrollhull under forinjeksjon	Nei, kun at det må etableres målelerskler for å dokumentere oppnådd tettekraft.	Vannlekkasje i sonderhull på stuff kartlegges ved registrering av innlekkasjer. Akkumulerte vannmengder fra lekkasje i tunnel måles med jevne mellomrom, fortrinnsvis ved å registrere utpumpede mengder på stuff etter at tunnelen har stått stille noen dager uten tilførsel av driftsvann.	Ja, på stuff og på målested for hver 100 m ved større lekkasjer.	Nei, ikke i den hydrogeologiske fagrapporten
Er kontroll av innlekkasjekrav utført som skissert?	Prosjektet er pågående.	Prosjektet er fortsatt i en tidlig fase.	Tilsynelatende ja. Det er rapportert i ingeniørgeologiske sluttrapporter.	Nei. Ikke kjent om det foreligger sluttrapport.	Prosjektet er pågående.
I tilfelle avvik - hva er årsak og hvordan er det utført?	Ikke kjent	Prosjektet er fortsatt i en tidlig fase.	Ikke kjent	Ikke kjent	Ikke kjent
<b>Avbøtende tiltak</b>					
Er det beskrevet behov for avbøtende tiltak?	Ja	Ja, det beskrives at det kan bli aktuelt.	Nei, kun sonderboring og injeksjon.	Nei	Nei, ikke i den hydrogeologiske fagrapporten
Hvis ja, hvilke tiltak er beskrevet?	Vanninfiltrasjon der infiltrasjonsbrønnene bores og testes ut før anleggsarbeidene starter slik at de kan settes i drift på kort varsel	Det anbefales å ha infiltrasjonsbrønner i beredskap før arbeidene starter opp.			
Er det beskrevet behov for overvåkning i anleggsfasen?	Det er etablert poretrykksmålere for å vurdere effekt og tetthet av utført injeksjon. Disse er instrumentert med et fjernovervåkningssystem.	Ja, det anbefales at grunnvannsstand og poretrykk overvåkes. Det anbefales at det etableres flere målepunkter enn det som hittil er etablert.	Ja, overvåkningsbrønner i berg er etablert.	Ja, beskrevet måling før, under og etter (2-3 år etter ferdigstilling).	Det står at overvåkningsprogrammet for grunnvann skal videreføres i regi av Statens vegvesen og deres rådgiver.
<b>Rapportering</b>					
Hvordan er hydrogeologiske vurderinger rapportert?	I rapport V-717 Tetthetskrav for Høviktunnelen og Gjønnestunnelen	I egen hydrogeologisk fagrapport	I ingeniørgeologiske prosjekteringsrapporter	I egen hydrogeologisk fagrapport	I egen hydrogeologisk fagrapport
Er det beskrevet krav til hydrogeologisk sluttrapport?	Ikke kjent	Nei	Det inngår i ingeniørgeologiske sluttrapporter. Måleverdier fra anleggsfasen er inkludert, men ikke i driftsfasen.	Nei	Nei
<b>Usikkerheter</b>					
Er det eget kapittel for usikkerheter?	Nei	Nei, men usikkerheter er beskrevet.	Nei	Nei	Nei, men usikkerheter er belyst i kapitlene for diskusjon
Hva er de største usikkerhetene?	Ikke kjent	Beregning av tetthetskrav og måling av innlekkasje i tunnel, Lugeon-verdiene fra vanntapmålinger pga bruk av enkeltpakker, beregning av K-verdi med Lugeon-verdier, beregning av K-verdi med resultater fra pumpelest, tolkninger av vannførende soner.	Ikke kjent	Ikke kjent	Hydraulisk konduktivitet, hydraulisk gradient (i modellen)
<b>Søknader</b>					
Er det beskrevet behov for søknad til myndighet?	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei

## Vedlegg 3 Sammenstilling av forbedringsforslag for regelverk og veiledere

## Publikasjon nr. 103 Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø

Kap.	Tema	Forbedringsforslag/Innspill
Sammendrag	tetthetskrav - fuktighetskrevende natur	Det står "Tetthetskravene kan komme ned mot fra ca. 5–15 l/min pr. 100 m tunnel hvis man skal unngå noen vesentlig påvirkning på slike områder (dvs våte naturområder) om de ligger i kort avstand fra tunnelen." I kap. 2.8 står det at "Dataene viser at grunnvannssenkningen vil begrense seg til mellom 0 og 5 m hvis lekkasjen er under 10 l/min pr. 100 m". I kap. 2.3 står det "at man må oppnå meget stor grad av tetting og lekkasjer helt ned mot tilsvarende 1–3 l/min pr. 100 m hvis potensialet for grunnvannsenkning skal begrenses til noen få meter." Tilstand i fuktighetskrevende natur antas å reduseres betraktelig ved grunnvannsenkning på noen få meter, men dette er det behov for forskning på. Og, det er derfor også mulig disse formuleringene må omformuleres.
2	Modellering	Generelt diskuteres det mye om metoder for modellering og type programmer. Det har vært stor utvikling på dette temaet siden 2003, og kan med fordel oppdateres.
2.2	Vannførende sprekker	"Erfaringer viser at det bare er ca. 1 til 15 % av sprekkesystemene som i virkeligheten er vannførende (Dershowitz 1993)". Mulig dette burde undersøkes på nytt mtp. nye data og nye prosjekter. DFDet er et ganske stort sprik mellom 1 % til 15 % i vannførende sprekker.
2.1	Teori	Koneskvenser for ytre miljø mtp. reduksjon i grunnvannsspeil eller vanntilførsel er stor for vannkrevende flora og fauna. Det burde derfor vært pressisert i rapporten at grunnvannsbrønner og overvåkning bør etableres i forbindelse med fuktigkrevende naturtyper.
2.6	Influensområde	I rapporten defineres influensområdet som "hvor langt ut til siden man kan forvente poretrykksreduksjon i bunn av dyprenner sett i forhold til lekkasjenivået i tunnelanlegget". Det er ikke angitt beskrivelser av metode for å modellere dette. Det burde det ha blitt.  Ikke observert endring i grunnvannssenkning med mer enn 200-300 m fra et tunnelanlegg i naturområder, og at grunnvannssenkning øker med økende lekkasje, men det er et betydelig sprik. Data viser at grunnvannssenkning vil begrense seg til mellom 0-5 m hvis lekkasjen er under 10 l/min pr. 100 m tunnel. Sammenstillingen av måledata har blitt benyttet til å si noe om maksimal forventet influensradius i et tunnelprosjekt, og blir brukt hyppig i bransjen. Sammenstillingen er basert på fire prosjekter, og det er ukjent hvor nøyaktige målinger (grunnvann og innlekkasjer) har blitt utført. Fra de fire ulike anleggene er det til sammen data fra 76 målere benyttet til sammenstilling. Fra Oslo sentrum er det tatt med data fra 53 målere av ulike typer. Fra Rmeriksporten er det tatt med data fra 20 fjellbrønner satt ned etter at tunnelen var drevet. Fra Baneheia er det benyttet data fra to kjerneborehull, i tillegg til at der er en grunnvannsbrønn som ligger 600 m unna tunnelen, men det ser ut til at denne ikke er tatt med i sammenstillingen. Datagrunnlaget vurderes som begrenset til å si noe om forventet influensradius, og er ikke nødvendigvis representativ for andre geologiske områder i Norge. Sammenstillingen er i utgangspunktet ikke ment for å kunne benyttes til å definere influensradius, men i hvilke områder man kan forvente en grunnvannspåvirkning. Allikevel benytte sammenstillingen i fagmiljøet i dag, med formål å definere en maksimal konservativ influensradius.  Det har blitt gjennomført en rekke prosjekter siden 2003, og sammenstillingen kunne med fordel vært oppdatert mtp. nyere gjennomførte prosjekter med fokus på overvåkning og måling av innlekkasje. Videre er en senkning på opptil 5 m en meget høy senkning som potensielt kan gi svært negative konsekvenser for sårbare naturtyper som myr eller mindre tjern.
2.7	Forundersøkelser til modellering	Henviser til rapport fra NGU, Rønning (2003). NGU publiserte en ny rapport i 2021 som omhandler geofysiske undersøkelser til forundersøkelser i vegbygging. Referanse kan oppdateres.
3.1.2	Beskrivelser av sårbare naturtyper	Klassifisering av naturtyper følger utdatert rammeverk for kartlegging av natur. Rapporten burde blitt oppdatert med tanke på gjeldende kartleggingsrammeverk Natur i Norge (NiN) og kartleggingsmetodikk (eks. Miljødirektoratets kartleggingsinstruks M-2209).
3.1.3	Erfaringer - skade på naturmiljø	Da rapporten er relativt gammel burde erfaringsgrunnlaget beskrevet i rapporten blitt oppdatert basert på gjeldende kunnskapsgrunnlag. Rapporten burde vist til metodikk for for- og etterundersøkelser (overvåkning) av effekt på fuktighetskrevende natur.
3.3.2	Tørkeperioder	Beskrives tørkeperioder. Burde vært oppdatert med tanke på dagens kunnskap om klimaendringer, både hyppigere perioder med både flom og tørke, større og raskere svingninger.
3.4	Verdisetting	Det har kommet nye veileder og krav mtp. verdisseting.
3.5	Konsekvensvurdering	Det har kommet nye veiledere og krav mtp konsekvensvurdering.
4	Urbane områder	Kun fokusert på tunnelanlegg i områder med marine avsetninger, og da spesielt med tanke på dyprenner. Publikasjon nr. 103 har i hovedsak fokusert på tunnelprosjekter i Oslo-regionen. Det anbefales å innhente erfaringstall fra relevante tunnelprosjekter fra andre deler av landet, og gjerne se om det er mulig å gjøre en inndeling basert på geologi. Veg i dagen kan medføre negativ påvirkning på grunnvannsfotrhold ved at nedbørsfelt påvirkes eller at naturlig infiltrasjon endres.
4.6	Tillatt setning og skade	Fokuserer i hovedsak på skade på bygninger. Ikke fokus på energibrønner/brønnparker, eller eventuelt annen sårbare infrastruktur i urbane områder. Vurderinger er basert på at tunneler bygges i områder med mektige marine leiravsetninger, og dermed er det ikke fare for påvirkning av annet enn bygninger med tanke på skade. Men igjen vises graf for mulig setning over tid, og viser at ved dype tunneler kan det ta opptil 100 år før setninger stopper opp.
5	Undersøkelser	Viser til gamle håndbøker.

## Vedlegg 3 Sammenstilling av forbedringsforslag for regelverk og veiledere

## N500 Vegtunneler (Gjeldende fra 2022-03-31)

Kap.	Tema	Forbedringsforslag/Innspill
	Generell kommentar - naturmangfold	Veiledningsmaterialet gir en veldig tynn beskrivelse av hvordan naturmangfold skal håndteres annet enn at det anbefales en kontinuerlig registrering av vannstand i vann og myrer. Det mangler beskrivelse på akseptabel endring i vannstand og at om denne terskelverdien overstiges, bør det iverksettes hastetiltak for å stoppe innlekkasjer. Generelt er det lite kunnskap på terskelverdier for grunnvannsreduksjon i fuktbevende natur. Prosjekt/forskning bør igangsettes for å definere dette.
Innledning	Dimensjonerende brukstid	Dimensjonerende brukstid 100 år for tunnelkonstruksjoner, 50 år for vann og frostsikring, 25 år for tekniske installasjoner. Tunnelkonstruksjon skal prosjekteres for 100 år, men står ikke spesifisert krav til overvåkning av grunnvann etter endt anleggsfase, eller langtidsvurderinger av eventuell grunnvannssenkning som følge av tunneltrasé.
2.1	Geologiske forundersøkelser - generelt	Hydrogeologiske og geotekniske undersøkelser ved behov. Her burde det stått en tydeligere presisering.
2.1	Geologiske forundersøkelser - generelt	Hydrogeologi bør legges inn som eget fagtema i Rapportweb.
2.1	Geologiske forundersøkelser - generelt	Bør presiseres at grunnvannsbrønner skal rapporteres til Granada når det presiseres at grunnundersøkelser rapporteres i NADAG. Med tanke på rapportering, bør det presiseres krav eller definere i veiledning til krav om rapportering at data skal legges inn i offentlige databaser som Granada, Artsdatabanken og Miljødirektoratets databaser. Rapportering av data gjelder også funn som omhandler sårbarhet i flora og fauna (eller fuktbevende natur).
2.2	Kartgrunnlag for geologisk feltkartlegging og presentasjon av geologiske data	Her står det at kartgrunnlag skal inneholde elver, bekker og vann. Slike registreringer må sees i sammenheng med kartlagte sprekker/svakhetssoner/forkastninger etc. for vurdering av om vannforekomst er i hydraulisk kontakt med tunnel.
2.4	Geologiske forundersøkelser i tidlig planfase	Kunne med fordel vært presisert behov for hydrogeologiske undersøkelser som kan være nødvendig å begynne med i tidlig fase for å få et godt overblikk av variasjoner, spesielt dersom tunneltrasé ligger i umiddelbar nærhet til sårbare områder. Formulering i kapittel er noe utydelig, er ikke nevnt vurdering innenfor influensområdet. Rom for tolkning i hvor langt man tar vurderingene. Vurderinger er ikke forundersøkelser. Spesifisere ordlyden ytterligere, at en hydrogeolog bør utføre vurderinger i forundersøkelser/behov for forundersøkelser.
2.5	Geologiske forundersøkelser i kommunedelplan	Beskrives kun måleprogram for registrering av grunnvannsnivå og poretrykk, men ikke behov for andre undersøkelser som pumpeforsk eller andre tester for å teste kapasitet mtp innlekkasje og influensområde. Beskrives hyppige registreringer, eksempelvis månedlig. Burde heller vært presisert at hyppighet avhenger av grunnvannsforkomstens respons. Grunnvannsvariasjoner burde også sees i sammenheng med nedbør, og eventuelle andre vannforekomster, eksempelvis elver/vann/tidevann, etc.
2.5	Geologiske forundersøkelser i kommunedelplan	Står krav til hydrogeologiske registreringer der dette er nødvendig. Dette er en noe vag formulering, og burde vært tydeligere i N500. Videre burde det vært stilt krav til at en hydrogeolog skal vurdere grunnvann og influensområdet.
2.5	Geologiske forundersøkelser i kommunedelplan	Det står beskrevet at forundersøkelser skal sammenfattes i en geologisk rapport, inkludert hydrogeologiske forhold. Det bør vurderes om det bør stilles krav til egne fagrapporter innen hydrogeologi.
2.6	Geologiske forundersøkelser i reguleringsplan	Det står presisert at det er viktig at det arbeides tverrfaglig på fagområdene geologi, geoteknikk, hydrologi, hydrogeologi og miljøgeologi. Økologi er ikke nevnt. Dette burde vært med.
2.6	Geologiske forundersøkelser i reguleringsplan	Betydning av geokjemi mtp grunnvannsstrømning. Tetting av sprekker, forvitring, etc. Geofysiske undersøkelser kan også benyttes til å undersøke hydrogeologiske forhold i berg, eksempelvis forekomst av vannførende sprekker, flow i sprekker, hvor tett sprekker er, etc. som igjen kan benyttes til å estimere hydraulisk ledningsevne til berget.
2.6	Geologiske forundersøkelser i reguleringsplan	Det står at influensområder med tanke på grunnvannssenkning og fare for setninger skal dokumenteres, men ikke gitt prosedyre eller metode for hvordan man definerer influensområdet. Det burde også blitt stilt krav om dokumentasjon med tanke på grunnvannssenkning og fare for skade på naturmangfold og økosystemtjenester (karbonlagring, flondemping mm).
2.6	Geologiske forundersøkelser i reguleringsplan - rapportering	Generell vag beskrivelse av rapportering mtp. vurdering og tolkning av forundersøkelser.
2.6	Geologiske forundersøkelser i reguleringsplan - rapportering	Mtp. rapportering bør det presiseres krav eller definere i veiledningen til kravet om at rapportering av data skal legges inn i offentlige databaser som Granada, Artsdatabanken og Miljødirektoratets databaser.
2.6	Geologiske forundersøkelser i reguleringsplan - rapportering	Det står ikke presisert hva faktadel i rapport skal inneholde mtp. hydrogeologi utover beskrivelse av spesielle hensyn, kun krav til geologi. Til info står det spesifikke krav til faktadel i geologisk rapport.

## Vedlegg 3 Sammenstilling av forbedringsforslag for regelverk og veiledere

3	Ytre miljø	<p>Beskriver at det skal utarbeides en plan for oppfølging av ytre miljø der håndtering av naturmangfold skal inkluderes, men det nevnes ikke fuktkrevede naturtyper spesifikt. Dette bør inkluderes.</p> <p>Det står at relevante forhold knyttet til ytre miljø skal kartlegges. Her burde det stått en tydeligere presisering. Da NS 3466 har relativt generelle beskrivels er og metode for KU ikke viser til spesifikk metodikk for kartlegging av alle fuktkrevede naturtyper, burde det i N500 blitt stilt krav til kartlegging av fuktkrevede naturtyper (eller en enda mer spesifikk beskrivelse: at rødlistede naturtyper, naturtyper med sentral økosystemfunksjon og naturtyper som gir viktige økosystemtjenester (som karbonlagring og flomdemping) skal kartlegges).</p> <p>Da NS 3466 har relativt generelle beskrivelser, burde det i N500 stått at virkning på fuktkrevede natur skal vurderes (eller den mer spesifikke opprensing som angitt over).</p> <p>Basert på YM-plan skal det vurderes hvilke registreringer og måleprogrammer som er nødvendige i ulike faser. Her burde det stått en tydeligere presisering.</p> <p>Ingen krav til forundersøkelser av økologi, det burde blitt stilt krav om kartlegging og overvåkning/forundersøkelser av hydrologi i fuktkrevede natur.</p> <p>Kapittel 3 burde inkludert et avsnitt/underkapittel på økologi.</p>
3	Ytre miljø	<p>Tunneler skal ha dimensjonerende brukstid på 100 år og vann- og frostsikring skal ha brukstid på 50 år. Det stilles ingen krav til overvåkning av fuktkrevede naturtyper i etterkant av anleggsfasen, men i kapittel 3 i N500 beskrives det at man skal registrere grunnvannsnivå gjennom prosjektets ulike faser (planlegging, prosjektering, utbygging og drift) om man finner dette relevant. Det bør vurderes om det skal stilles et tydeligere krav for dette, for eksempel at behovet skal vurderes av hydrogeologer og økologer/biologer.</p>
7.1	Generelt om tunneldriving	<p>Beskriver at i områder med fare for skadelig grunnvannssenkning skal det treffes tiltak for å unngå langvarig lekkasjer fra borehull og at borehull tettes så snart som mulig for å unngå langvarig innlekkasje. Men det beskrives ikke behov for overvåkning for å sjekke at tiltak er tilstrekkelige.</p>
7.3.2	Forinjeksjon	<p>Beskrives generelle krav, burde vært utarbeidet spesifikke krav slik at prosjekter utfører kontrollmålinger med måleterskler på samme måte, at bøttemålinger på stoff utføres likt, det burde også vært krav til at kontrollør eller uavhengig kontrollør er tilstede ved måling av måleterskel, da dette er en viktig parameter for å sjekke at innlekkasjekravet er korrekt.</p>
7.10	Sluttrapport	<p>Det er kun krav til geologisk sluttrapport. Det er ikke spesifisert direkte krav til rapportering av hydrogeologiske forhold i sluttrapport. Det burde vært krav til egen sluttrapport for hydrogeologi og økologi, og det burde vært egen sluttrapport for overvåkning som er utført. Det er også lite konsist rundt hva ingeniørgeologisk sluttrapport skal inneholde iht. N500 og N521. Det burde stått mer presist i N500.</p> <p>Det står ikke spesifikt at det skal rapporteres håndtering av innlekkasje, og eventuelle innlekkasjemengder. I midlertidig står det i veiledningen til N500 (N-V521, kap. 4.5.2.5 rapportering) at ingeniørgeologisk sluttrapport er obligatorisk, og at injeksjonserfaringer og oppnådd tetthet hører med her. Det er derfor noe lite konsist i beskrivelsen av krav til ingeniørgeologisk sluttrapport og dette bør tydeliggjøres. Det står ikke beskrevet at man skal dokumentere eventuelle tiltak for å redusere risiko ifm. fuktkrevede natur og det bør gjøres en vurdering av om det også skal stilles krav om dette.</p>

**N-V521 Geologi og bergsikring i tunnel (Gjeldende fra 2023-02-03)**

Kap.	Tema	Forbedringsforslag/Innspill
Generell kommentar		V521 beskriver detaljerte forundersøkelser i tunnel. Beskriver geofysiske metoder, og henviser til NGU rapport som i detalj går gjennom geofysiske metoder for tunnel- og fjellrom. Det kunne med fordel vært nevnt at geofysiske metoder også kan benytte til å tolke de hydrogeologiske forholdene, som for eksempel antatt grunnvannsnivå. Gjelder for refleksjonsseismikk og resistivitet. Måling av IP (indusert polarisasjon) sier noe om mineralinnholdet, og kan benyttes til å tolke hvordan sprekker og de geokjemiske forholdene i bergarten er med tanke på grunnvannsstrømning. Optisk og akustisk televiueer er også gode metoder mtp. kartleggign av hydrogeologiske forhold og strømningshorisonter. Det samme gjelder bergspenningsmålinger, som er nyttig informasjon for å vurdere hvor grunnvann vil strømme. Vann vil strømme minste motsatnd vei, og strømmen i retning minste bergspenning.
Generell kommentar		Juridisk gjennomgang av ordlyden vedrørende hydrogeologiske forhold utan at det går på bekostning av virkeområde. Eksempelvis ikke bruke «ved behov» .
2.4	Forundersøkelsesmetoder	Skriver vanligste metoder for geologiske / ingeniørgeologiske forundersøkelser. Bør det lages en egen liste mtp hydrogeologi? Evt henviser til eget kapittel?
2.4.2	Boring	Nevner GUDB. Benyttes denne aktivt i dag? Henviser til R211 for sonderingsmetoder og kjerneboring. Vurdere å oppdatere mtp geofysisk borehullslogging.
2.4.2.2	Kjerneboring	Som det beskrives er kjerneboring relativt kostbart. Før det utføres kjerneboring, bør man ha en god forståelse av svakhets- og sprekkesoner i området, slik at man ved vanntapmålinger har bedre kontroll på resultatene og eventuelt hvilke vannførende soner som testes.
2.4.3	Geofysiske metoder	Det nevnes ikke geofysiske metoder med borehullslogging. Nevnes som televiueer i borehull i kap. 2.4.3.4.
2.4.3.4	Televiueer i borehull	Undersøkelsene kan være nyttige mtp hydrogeologiske vurderinger. Etablering av hammerborehull er billigere enn kjerneborehull. Kan også utføres flere undersøkelser i hammerborehull med geofysiske metoder enn bare televiueer.
2.4.5	Prøvetaking og laboratorieanalyser	<i>Nevnes prøvetaking av bergarter mtp. forurensning. Men bergarter som forvitrer og medfører økt grunnvannsstrømning eller evt. fortetting kan påvirke influensområdet i et langt tidsperspektiv. Nevnes aggressivt vann som kan påvirke bestandigheten til bergsikring, dersom vannet er såpass aggressivt at det påvirker bergsikring, bør det vurderes risiko for at vannførende sprekker endres, og at dette igjen påvirker grunnvannsstrømning. Bør inngå som en del av hydrogeologisk vurdering og geokjemisk påvirkning. Står delvis forklart i kap. 2.4.6. Kan fjerne kommentar.</i>
2.4.6	Registreringer med hensyn til hydrogeologi	Kapittel nevner ulike hensyn som må tas og hvilke faktorer som er sensitive til grunnvannsendringer som kan ha noe å si for influensområdet. Det nevnes ikke at tunnel/veilinje må sees i sammenheng med andre prosjekter og hvordan den totale påvirkningen blir. Henviser til publikasjon nr. 103, en publikasjon som fremstår som utdatert . Skriver at influensområdet skal vurderes, men nevnes ikke hvordan og det er heller ikke gitt referanse andre steder mtp vurdering av influensområdet. Gir en beskrivelse av hensikten med hydrogeologiske undersøkelser, hva som må vurderes, hva lekkasjer avhenger av, en beskrivelse av teori mtp sprekker. Det gis ikke en presis beskrivelse av krav til registreringer som det gjør for fagområdet geologi, men det ligger implisitt beskrevet i teksten hva som kan utføres av registreringer. Hvor detaljert man utfører forundersøkelser mtp hydrogeologi kan derfor tolkes. Henviser til N-V220 for beskrivelser av pumpe tester, og relevante feltmetoder i R211. Det står ingen beskrivelse av metoder for pumpe test i hverken N-V220 eller R211, bare at det må gjøres.
2.7.1	Generelt	<i>Igjen spesifiseres det krav til utarbeidelse av geologisk rapport. Nevnes ikke krav til egne hydrogeologiske rapporter.</i>

## Vedlegg 3 Sammenstilling av forbedringsforslag for regelverk og veiledere

2.7.7	3D-modell	Influensområdet <u>kan</u> legges inn i 3D-modell. Dersom influensområdet er definert, er det ingen grunn til å ikke legge det inn i 3D-modellen, krav bør spisses. Videre kan grunnvannsnivå legges inn i 3D-modell dersom man først legger inn brønner.
2.8	Geologiske undersøkelser for nytt tunnellopp	Dersom det hentes fram eldre datagrunnlag og informasjon om grunnforhold, bør dette rapporteres og legges inn i offentlige databaser dersom det allerede ikke foreligger.
3.2.3	Hydrogeologi, innlekkasje, setningsømfintlighet	Nevner at setningsømfintlighet gjøres i samarbeid med geoteknikere. Men det nevnes ikke at vurderinger av hydrogeologi og innlekkasje skal gjøres i samarbeid med hydrogeolog. Beskrevet henvisning til "eventuelle rapporter" mtp vurdering av krav til innlekkasje, her kunne ordlyden vært mer presis.
3.2.4	Begrensning av innlekkasje	Overvåkning og målinger av grunnvannstand, poretrykk og setninger bør inngå som en del av et overvåkningsprogram og iht. kravene i ytre miljø-plan. Det kunne med fordel vært henvist til kapittel om ytre miljø.
3.3.1	Vurdering av grunnvann, poretrykk og setninger.	For første gang beskrives at det vises til eventuelle hydrogeologiske rapporter. Dette burde fremkommet tydeligere i normalen inkl. veileder.
4.5	Tetthetskrav og innlekkasjemålinger	Ordlyd rundt målinger av innlekkasje som "ofte nok" og "tett nok" burde vært skjerpet, gir rom for tolkning. Skriver at resultater skal være dokumentasjon på om injeksjon er vellyket. Usikker på om dette faktisk er et krav i sluttrapporteringen i geologisk rapport. Det bør sees på muligheter for å utføre vanntapsmålinger på stuff for kontroll av tettheten til skjerm.
4.5.1	Målelerskler	Ordlyd rundt det med målelerskler burde vært skjerpet, per nå står det "tilpasses", "som regel" "vanligste" "kan""gjøres normalt". Kravene gir rom for tolkning. Dersom målinger skal være dokumentasjon på om injeksjon er tilstrekkelig, burde det vært stilt strengere krav til måling med målelerskler. Burde det vært utarbeidet en prosedyre eller sjekklister for etablering av målelerskler? Burde det vært utført kontroll ved måling av terskler? Det er ikke gitt spesifikke krav til avstand mellom målelerskel, og ingen spesifikke krav om hvor ofte eller hvordan de skal utføres. Kravene burde vært tydeligere slik at målinger utføres likt, uten rom for personlig tolkning av utførende entreprenør. Veilederen skriver at det er ingen direkte krav til rapportering underveis i tunnelprosjektet, men at ingeniørgeologisk sluttrapport er obligatorisk. Når det først gjøres arbeid med å utføre målinger underveis, burde dette uansett vært obligatorisk å dokumentere. Spesielt i sårbare områder. Dersom det måles større lekkasjer enn hva som er akseptabelt, bør det også gjøres en kontroll om dette kan observeres i grunnvannsmålere eller poretrykksmålere. Målinger ved målelerskel burde også kontrolleres, gjerne av uavhengig part.  Videre bør det sees på muligheter for å utføre vanntapsmålinger på stuff for å kontrollere tetthet til skjerm.
5.1	Geologisk sluttdokumentasjon	Nevnes at områder som må følges opp i drift skal beskrives i sluttrapport. Her bør også eventuelt behov for overvåkning mtp innlekkasje og grunnvannssenkning rapporteres. Hydrogeologisk sluttrapport burde også utarbeides. Etablerte grunnvannsbrønner må registreres i Granada, tilsvarende innrapportering til NADAG.
6	Hensynssoner for tunnel	Ved fastsetting av hensynssoner for tunnel, burde det i sårbare områder også vurderes om det er behov for å definere en hensynssone mtp restriksjoner i områder som ikke tåler mer belastning enn hva det tunnelen medfører.
Tillegg A	Innhold i geologiske rapporter	Anbefalt innlekkasjenivå for å unngå skadelig poretrykksendring. Her burde det også stått mtp. skadelig påvirkning fuktkrevende natur.



## Vedlegg 3 Sammenstilling av forbedringsforslag for regelverk og veiledere

## N200 Vegbygging (Gjeldende fra 2022-11-01)

Kap.	Tema	Forbedringsforslag/Innspill
	Generell kommentar	Det bør settes krav til å definere influensområde. Da det i dag er manglende kunnskap på hvordan fastsette influensområdet, må det gjennomføres prosjekter som utvikler metodikk for dette. Metodikken må inkludere en vurdering av hvordan og hvilken utstrekning en veinbygging vil påvirke vannforhold i fuktrevende natur. Da kunnskapsgrunnlaget i dag er tynt, må det gjennomføres forskning på dette temaet.
i.a.	Generelt i normalen	Det er ikke eget kapittel for ytre miljø slik det er i N500. Anbefales at det stilles krav til Ytre miljø i N200.
0	Innledning	Det står at dokumentasjon som kan ha betydning for framtidig drift, vedlikehold og utbedringer, eller som har betydning for oppdatering av normaler og retningslinjer, samles og rapporteres. Kan ikke se hvordan dette rent spesifikt skal utføres. Burde vært presisert bedre.
0	Innledning	Viser til NADAG. Kan med fordel også henvisne til GRANADA mtp innrapportering av grunnvannsbrønner.
1.3	Geoteknisk planlegging og prosjektering, omfang av utredninger og leveranser.	Står at det "anbefales å gjøres tiltak for å unngå utvasking og senket poretrykk" ved lekkasje av artesisk grunnvann i sonderingshull. Her burde det stått SKAL-krav.
1.3	Generelt i kapittelet	Det står lite/til dels ingen krav om å rapportere eller dokumentere grunnvannsnivå, annet enn i kapittel om geotekniske rapporter for konkurransegrunnlaget (kap. 1.3.3.3) hvor det er beskrevet krav til tolkning av grunnvannsstand. Beskrives generelt å vurdere setningspotensiale for områder med potensiell grunnvannssenkning.
1.5.1	Tillatt totalsetning	Det tillates opp til 50 cm setning avhengig av dimensjonerende fartsgrense i løpet av 40 år etter ferdigstillelse av anlegget.
1.5.2	Tillatt setningsforskjell på langs	<i>Dersom veg bygges ved fuktrevende natur kan dette medføre negativ påvirkning.</i>
1.6.2 og 3	Forundersøkelser i tidlig planfase, kommunedelplan og reguleringsplan	Nevnes krav til hydrologiske og hydrogeologiske forhold ved forundersøkelser og vurderinger. Beskriver at i geologisk rapport skal det inneholde hydrologiske/hydrogeologiske forhold som vil kunne ha betydning for valg av alternativ, og identifisere områder som vil kunne kreve spesielle tiltak som grunnvannssenkning. Beskriver at effekter på ytre miljø skal tolkes. Det står beskrevet generelle krav, og ingen spesifikke krav til hydrogeologiske undersøkelser. <i>Nevnes ikke kartlegging mtp. fuktrevende naturtyper, eller spesielle tiltak mtp. fuktrevende natur.</i>
1.6.4	Geologisk rapport for byggeplan	Det nevnes omfattende krav til innhold i en geologisk rapport, som skal skille mellom faktadel og tolkningsdel. Faktadel skal inneholde hydrologiske og hydrogeologiske forhold, samt resultater fra blant annet vannkjemiske forhold/analyser, spesielle lokale hensyn, etc. Tolkningsdel skal inneholde hydrologiske og hydrogeologiske forhold, konsekvenser og tiltak knyttet til avrenning/ytre miljø, etc. Det nevnes ikke at konsekvenser for fuktighetsrevende natur skal beskrives. <i>Store rapporter har en tendens til å neglisjere eller glemme fagspesifikke vurderinger, kan vurderes om det bør stilles krav til egne fagrapporter for hydrogeologi og økologi som geologisk rapporter kan henvisne til.</i>
1.8	Fjerning av vegetasjon og toppmasser	Det beskrives at rigg- og marksikringsplan som konkretiserer forhold i ytre miljø som må hensyntas. Det vises til V271. Fuktighetskrevene natur nevnes ikke. Det kunne vært stilt krav knyttet til ivaretagelse av fuktighetsrevende natur; hvordan gjennomføre avtaging, mellomlagring og tilbakelegging av torvmasser etc.
1.10.8.2	Grunnvannssenkning	Det står ikke presisert i kravet ved grunnvannssenkning som metode at fuktrevende naturtyper skal vurderes om påvirkes.
1.11.4	Bygging på myr og annen våtmark	Det beskrives at inngrep i myr eller annen våtmark skal søkes unngått, om dette ikke kan etterfølges må hydrologi hensyntas. Ved restaurering etter midlertidige inngrep skal myr restaureres ved bruk av masser fra samme myr. Det vises til rapport 423 for veiledning. Det burde vært stilt krav om at man før inngrep skal vurdere muligheten for å restaurere og at om dette vurderes å ikke være mulig, kan ikke midlertidige inngrep legges i slike areal. Det burde vært stilt krav om overvåkning i etterkant av tiltak og krav om nye tiltak om ikke måloppnåelsen nås. Det burde blitt stilt krav om sluttrapport som dokumenterer gjennomførte vurderinger og tiltak i byggeperioden. Veiledningsmateriale bør oppdateres, da kunnskap, teknologi og metodikk oppdateres kontinuerlig.  Normalen er noe vag på krav for å ivareta fuktrevende natur. Det er ikke krav om å gjennomføre hverken for- eller etterundersøkelser for å sikre at man opprettholder kravet om å utvise særlig hensyn til myr og annen våtmark (som gitt i KRAV 1.11.4-1) og sikre at vannbalansen i våtmark (KRAV 1.11.4-3). Dette burde det bli satt krav om.  Iht. 1.11.4-4 skal natur restaureres etter fjerning av midlertidige inngrep. Det stilles ikke krav om å vurdere muligheten for å restaurere et areal. Ikke alle areal med fuktrevende natur er mulige å tilbakeføre til opprinnelig tilstand. En vurdering av restaureringspotensialet burde blitt inkludert i prioriteringene som må tas gitt i KRAV 1.11.4-3.
2.1	Dimensjoneringsgrunnlag og forutsetninger	Beskrives krav at det skal dokumenteres "hindre/begrense endring i grunnvannsnivå". Det står ikke detaljerte krav til hvilke undersøkelser som skal utføres for å kunne gjøre en slik vurdering.

**N-V220 Geoteknikk i vegbygging (Gjeldende fra 2023-08-18)**

*Kommentar: Veilederen er på 553 sider. Har kun gått gjennom kap. 2, 3 og 15.*

Kap.	Tema	Forbedringsforslag/Innspill
Generelt	Generelt	Mangler eget kapittel for Ytre miljø.
2.2.3	Geotekniske undersøkelser	Dersom det ikke er et filter for hydrogeologiske undersøkelser i GUDB bør dette lages. Der er per i dag ikke eget fagtema for hydrogeologi i RapportWeb, må lages.
2.3.2	Planlegging av grunnundersøkelser	"Det forutsettes at geotekniker, vegteknolog, ytre miljø og geolog samarbeider om borplanern". <i>Her burde hydrogeolog også nevnes.</i>
2.3.2.2	Unngå skadelig grunnvannsutstrømning	Burde vært presisert at man må rådføre seg med hydrogeolog mtp. denne problemstillingen.
2.6.6	Myrområder	Som en del av grunnundersøkelsene burde nevnes behov for poretryksmålere og at en biolog/økolog burde gjøre kartlegging av myra.
2.7.2	Kommunedelplan	Presisere krav til hensyn mtp ytre miljø og hydrogeologi i vurderingene. Kunne presisert at det burde startes overvåkning av grunnvannsnivå.
15.2.4	Vannkjemi og litt biologi	Ikke mye biologi som er beskrevet. Når man først har laget et såpass stort og detaljert kapittel om vann i jord, burde det også vært beskrevet fuktkevende natur og hvordan disse er naturlig dannet samt hvordan de kan påvirkes negativt, og hvilke tiltak som må iverksettes.
15.8	Hydrogeologiske undersøkelser	Beskriver at Statens vegvesen kartlegger og overvåker grunnvannsforholdene, gjerne i flere år (før, under og etter utbygging) gjennom forskrift om rammer for vannforvaltning §12. <i>Det er usikkert om SVV faktisk utfører dette, da spesielt med tanke på overvåkning i god tid før bygging ig etter at utbygging er ferdig.</i>
15.8.1	Vannbalanse	Henviser til N500 mtp vurdering av vannbalansen. <i>Kan ikke finne noe om vannbalanse i N500 annet enn i veiledning til krav om ytre miljø.</i>
15.8.2	Overvåkning av grunnvann og sjekk av private brønner	Beskriver at det er god praksis å undersøke drikkevannsbrønner som ligger nærmere enn ca 50 m fra ny veg oppstrøm og ca 100 m nedstrøms. <i>Her kunne det vært presisert at dersom det foreligger vurderinger av influensområder, må undersøkelser av brønner innenfor influensområdet utføres.</i> Videre beskrives det at energibrønner er mer robuste enn drikkevannsbrønner, og at det vanligvis ikke gjennomføres testing og prøvetaking av energibrønner, med mindre det er mistanke om at tiltaket påvirker ytelseevnen til brønnen. <i>Det kunne med fordel vært beskrevet som et krav at eventuelle brønnparker til energianlegg skal kartlegges.</i>
15.8.3	Hydraulisk konduktivitet og kornfordeling	Det beskrives ulike formler for estimering av K-verdi. <i>Det burde vært beskrevet hvilke typer masser slike formler er best egnet på. Formlene er ikke generelt gode på graderte masser.</i>
15.8.4	Bestemmelse av hydraulisk konduktivitet ved hjelp av pumpetest	<i>Det er ikke gitt beskrivelse av hvordan en pumpetest utføres. Dette er naturligvis noe hydrogeologer vet, men kunne med fordel vært gitt en metode i R211 mtp standardisering.</i>

**R221 Feltundersøkelser (mars 2021)**

Kap.	Tema	Forbedringsforslag/Innspill
Generelt	Hydrogeologiske undersøkelser	Det burde vært et eget kapittel for hydrogeologiske undersøkelser. Har eget vedlegg for hydrogeologiske begreper.
Generelt	Måleterskler	Har kartlegging og geologiske undersøkelser i tunnel under driving som eget tema. Det burde vært et eget kapittel om måleterskler for kontroll av innlekkasje og injeksjon.

**N-V240 (Gjeldende fra 2023-08-15)**

Kap.	Tema	Forbedringsforslag/Innspill
1	Innledning	NB! Veilederen omhandler ikke grunnvannsforhold, for dette viser den til V220. Den omhandler heller ikke biologi og ytre miljø, men det henvises ikke til noen andre veildere for omtalelse av disse fagtema.

## V222 Geoteknisk felthåndbok (Juni 2014)

Kap.	Tema	Forbedringsforslag/Innspill
10	Etterarbeid	Kapittel burde vært oppdatert mtp tetting av artesiske borehull iht detaljert beskrivelse i N-V220. Evt. henviser til N-V220.

## N-V225 Bergskjæringer (Gyldig fra 2023-02-09)

Kap.	Tema	Forbedringsforslag/Innspill
3.2	Kartgrunnlag for geologisk feltkartlegging	Influensområder burde også omfattet grunnvann. Ikke bare nedbør og avrenning.
3.3.2	Ytre miljø og forurensede masser	For vurdering av innlekkasje til bergskjæring kunne det med fordel vært henvist til N-V521. Nevnes ikke krav til å definere influensområdet spesifikt, bare at senket grunnvannsstand kan påvirke omgivelsene. Eksempler på tiltak ved senkning av grunnvannsstand er ikke gitt. I tillegg kan bergskjæring som gir drenering av grunnvann medføre negativ påvirkning på grunnvann nedstrøms bergskjæring. Kan ikke finne informasjon om at oppsamlet vann oppstrøms veg bør infiltreres til grunn. Beskrives bortledning av oppsamlet vann oppstrøms.



Statens vegvesen  
Pb. 1010 Nordre Ål  
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

[firmapost@vegvesen.no](mailto:firmapost@vegvesen.no)

ISSN: 1893-1162

[vegvesen.no](http://vegvesen.no)

**Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag**