

Avinor AS

► Tilleggsvurderinger til tiltaksplan for PFAS-forurensset grunn

Nedlagte brannøvingsfelt (BØF1 og BØF2)

Kristiansand lufthavn

Oppdragsnr.: 5205614 Dokumentnr.: RIM03-ENCN-1-2 Versjon: E03 Dato: 2025-04-30



Oppdragsgiver: Avinor AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Trine Reistad
Rådgiver: Norconsult Norge AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika
Oppdragsleder: Aina Marie Nordskog
Fagansvarlig: Lars Været og Annelene Pengerud
Andre nøkkelpersoner:

E03	2025-04-30	Til myndighet	Lars Været Annelene Pengerud	Aina Nordskog	Aina Nordskog
B02	2025-04-21	For kommentar	Lars Været Annelene Pengerud	Aina Nordskog	Aina Nordskog
A01	2025-04-15	Til fagkontroll	Lars Været Annelene Pengerud	Aina Nordskog	Aina Nordskog
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

► Sammen drag

I 2015 utarbeidet Norconsult en tiltaksplan på skissenivå for opprydding i PFAS-forurensset grunn ved de nedlagte brannøvingsfeltene (BØF1 og BØF2) ved Kristiansand lufthavn Kjevik. Tiltaksplanen ble utarbeidet basert på krav i pålegg fra Miljødirektoratet datert 17. juli 2014. Avinor har de senere år lagt ned betydelige ressurser for å fremskaffe økt kunnskap om PFAS-forurensning ved sine lufthavner, samt oppdatert kunnskap om aktuelle tiltaksmetoder og kostnader knyttet til disse. Med bakgrunn i erfaringene som er bygget opp gjennom dette arbeidet, samt pålegg gitt for andre lufthavner, ble det i 2023 utarbeidet en revidert tiltaksplan for de nedlagte brannøvingsfeltene (BØF1 og BØF2) ved Kristiansand lufthavn. Denne tiltaksplanen ble utarbeidet på skissenivå og vil brukes som grunnlag for senere detaljering og gjennomføring av tiltak.

Det ble i den reviderte tiltaksplanen foreslått tiltak med tildekking av masser, kombinert med rensing av grunnvann, for gammelt brannøvingsfelt (BØF1). For sist nedlagt brannøvingsfelt (BØF2) ble det foreslått et tiltak med rensing av grunnvann som eneste tiltak.

Med bakgrunn i revidert tiltaksplan varslet Miljødirektoratet 23. januar 2025 om at de vil pålegge Avinor å gjøre tiltak i PFAS-forurensset grunn ved Kristiansand lufthavn Kjevik, som beskrevet i tiltaksplanen, der det vurderes å sette frist for gjennomføring av tiltakene innen 31. desember 2026.

Miljødirektoratet har gjennom varselet bedt om mer informasjon før endelig pålegg om tiltak kan fattes. Dette dokumentet redegjør for etterspurt tilleggsinformasjon:

- Tiltak med rensing av grunnvann:
 - Utslippspunkt for rensset grunnvann
 - Et anslag på hvor mye PFAS som vil slippes ut per år med rensetiltaket, og hvordan dette utslippet vil påvirke konsentrasjon i resipienten
 - En vurdering av om det er behov for å rense vann for ytterligere stoffer enn foreslått
 - Plan for prøvetaking
- Plan for kontroll og vedlikehold av tildekkingstiltaket

► Innhold

1	Bakgrunn	5
1.1	Utarbeidet tiltaksplan 2023	5
1.2	Varsel om pålegg fra Miljødirektoratet	5
2	Rensing av grunnvann	6
2.1	Dagens tilstand i Topdalselva	6
2.2	Utslipp av rensset grunnvann	8
2.2.1	<i>Utslippspunkt</i>	8
2.2.2	<i>Utslippsmengder</i>	8
2.2.3	<i>Andre forurensninger i grunnvannet</i>	9
2.3	Fortynning i resipient	9
2.4	Plan for prøvetaking	12
2.5	Videre prosjektering	13
3	Tildekkingstiltak	14
3.1	Krav til tildekkingslag	14
3.2	Plan for overvåkning og vedlikehold	14
4	Referanser	16

1 Bakgrunn

1.1 Utarbeidet tiltaksplan 2023

I 2015 utarbeidet Norconsult en tiltaksplan på skissenivå for opprydding i PFAS-forurensset grunn ved de nedlagte brannøvingsfeltene (BØF1 og BØF2) ved Kristiansand lufthavn Kjevik [1]. Tiltaksplanen ble utarbeidet basert på krav i pålegg fra Miljødirektoratet datert 17. juli 2014 [2]. Avinor har de senere år lagt ned betydelige ressurser for å fremskaffe økt kunnskap om PFAS-forurensning ved sine lufthavner, samt oppdatert kunnskap om aktuelle tiltaksmetoder og kostnader knyttet til disse. Med bakgrunn i erfaringene som er bygget opp gjennom dette arbeidet, samt pålegg gitt for andre lufthavner, ble det i 2023 utarbeidet en revidert tiltaksplan for de nedlagte brannøvingsfeltene (BØF1 og BØF2) ved Kristiansand lufthavn [3]. Denne tiltaksplanen ble utarbeidet på skissenivå og vil brukes som grunnlag for senere detaljering og gjennomføring av tiltak.

Basert på en gjennomgang av forurensingssituasjonen, aktuelle tiltaksmetoder og tilhørende kostnader, ble det for gammelt brannøvingsfelt (BØF1) ved Kristiansand lufthavn foreslått en kombinasjon av følgende tiltak:

- Et *primært* tiltak med tildekking av masser i umettet sone innenfor et areal på 11 100 m². Et slikt tiltak vil bidra til at om lag 80% av kjent mengde forurensning ved lokaliteten immobiliseres (21,5 kg av totalt 26,9 kg), og gir tilsvarende en forventet 80% reduksjon i samlet fremtidig spredningsmengde fra lokaliteten. Dette tiltaket vil utelukkende ha effekt på den forurensning som ligger i umettet sone (over grunnvannsnivå).
- Et *sekundært* tiltak med rensing av grunnvann for å håndtere spredning fra den forurensningen som i dag ligger i mettet sone (under grunnvannsnivå).

For sist nedlagt brannøvingsfelt (BØF2) ble det foreslått et tiltak med rensing av grunnvann som eneste tiltak. Dette tiltaket vil da innebære rensing av utstrømmende grunnvann fra brannøvingsfeltet innenfor et område med forventede konsentrasjoner av Σ PFAS i grunnvann >1000 ng/l, med en forventet reduksjon av spredningsmengde fra feltet på om lag 90% sammenliknet med dagens situasjon.

1.2 Varsel om pålegg fra Miljødirektoratet

Med bakgrunn i revidert tiltaksplan [3] varslet Miljødirektoratet 23. januar 2025 om at de vil pålegge Avinor å gjøre tiltak i PFAS-forurensset grunn ved Kristiansand lufthavn Kjevik, som beskrevet i tiltaksplanen, der det vurderes å sette frist for gjennomføring av tiltakene innen 31. desember 2026 [4].

Miljødirektoratet har gjennom varselet bedt om mer informasjon før endelig pålegg om tiltak kan fattes [4]:

- Mer informasjon om tiltaket med rensing av grunnvann:
 - Utslippspunkt for rensset grunnvann
 - Et anslag på hvor mye PFAS som vil slippes ut per år med renssetiltaket, og hvordan dette utslippet vil påvirke konsentrasjon i resipienten
 - En vurdering av om det er behov for å rense vann for ytterligere stoffer enn foreslått
 - Plan for prøvetaking
- Plan for kontroll og vedlikehold av tildekkingstiltaket

Frist for å sende inn etterspurt informasjon er satt til 2. mai 2025.

2 Rensing av grunnvann

Miljødirektoratet ber i varsel om pålegg [4] om et nærmere anslag på hvor mye PFAS som vil slippes ut per år under et tiltak med rensing av grunnvann, og hvordan dette utslippet vil påvirke konsentrasjon i resipienten Topdalselva. De ønsker også en vurdering av om det kan være behov for å rense vann for ytterligere stoffer utover PFAS, samt en plan for prøvetaking fra vannrenseanlegget.

2.1 Dagens tilstand i Topdalselva

Topdalselva (020-183-R) er i Vann-nett definert som en sterkt modifisert vannforekomst (SMVF) grunnet hydrologiske endringer som følge av vannkraftproduksjon, og har derfor miljømål om *godt økologisk potensial*, heller enn *god økologisk tilstand*. Registrerte påvirkninger som bidrar til kjemisk forurensning av vannforekomsten omfatter blant annet spredt avløp, diffus avrenning fra dyrket mark, mulig påvirkning fra nedlagt industri, i tillegg til lufthavndrift [5].

Topdalselva er i Vann-nett registrert med *moderat økologisk potensial* som følge av moderat tilstand for bunnfauna (ASPT) (data fra 2018-2021). Kjemisk tilstand er klassifisert til *dårlig*, grunnet høye nivåer av PFOS i vann (gjennomsnitt 2,4 ng/l; data fra 2019-2022)¹ [5]. Prøvepunktene (vannlokalitetene) som ligger til grunn for klassifisering av kjemisk tilstand i Vann-nett, er alle plassert langs elvebredden nært land, både for prøvepunkter oppstrøms, ved og nedstrøms brannøvingsfeltene (se plassering av prøvepunkter i Figur 2-1). Det foreligger ikke målinger for prøvepunkter fra elvens midtre/dypeste deler, der størst vannhastighet og fortynning kan forventes. Resultater fra resipientundersøkelser utført ved lufthavnen i 2024 viser også *dårlig* kjemisk tilstand i Topdalselva, som følge av forhøyede konsentrasjoner av PFOS i vann og sediment [6], noe som tilsier at tilstanden i dag er uendret fra tidligere.

Det er som tidligere beskrevet i tiltaksplanen [3], påvist enkelte svært høye konsentrasjoner av Σ PFAS², opptil 6270 ng/l i prøvepunkt V4 (median 340 ng/l) i Topdalselva nærmest utløp for drengsrøft ved brannøvingsfeltene (V4 og 2) (Figur 2-1). Det er for enkelte av disse prøvepunktene stor variasjon mellom enkeltmålinger (1,1 – 6270 ng/l for V4), noe som antas å skyldes at prøvene er tatt under ulike forhold (vannføring i Topdalselva og synkende eller stigende sjø). Det er for andre prøvepunkt i Topdalselva nært brannøvingsfeltene i hovedsak påvist konsentrasjoner <300 ng/l (V2, V6, V7). Disse prøvepunktene ligger alle relativt nært utstrømningsområde for grunnvann fra brannøvingsfeltene og utløpet fra drengsrøft, og vil i så måte være mindre representative for konsentrasjonsnivåer i Topdalselva som helhet.

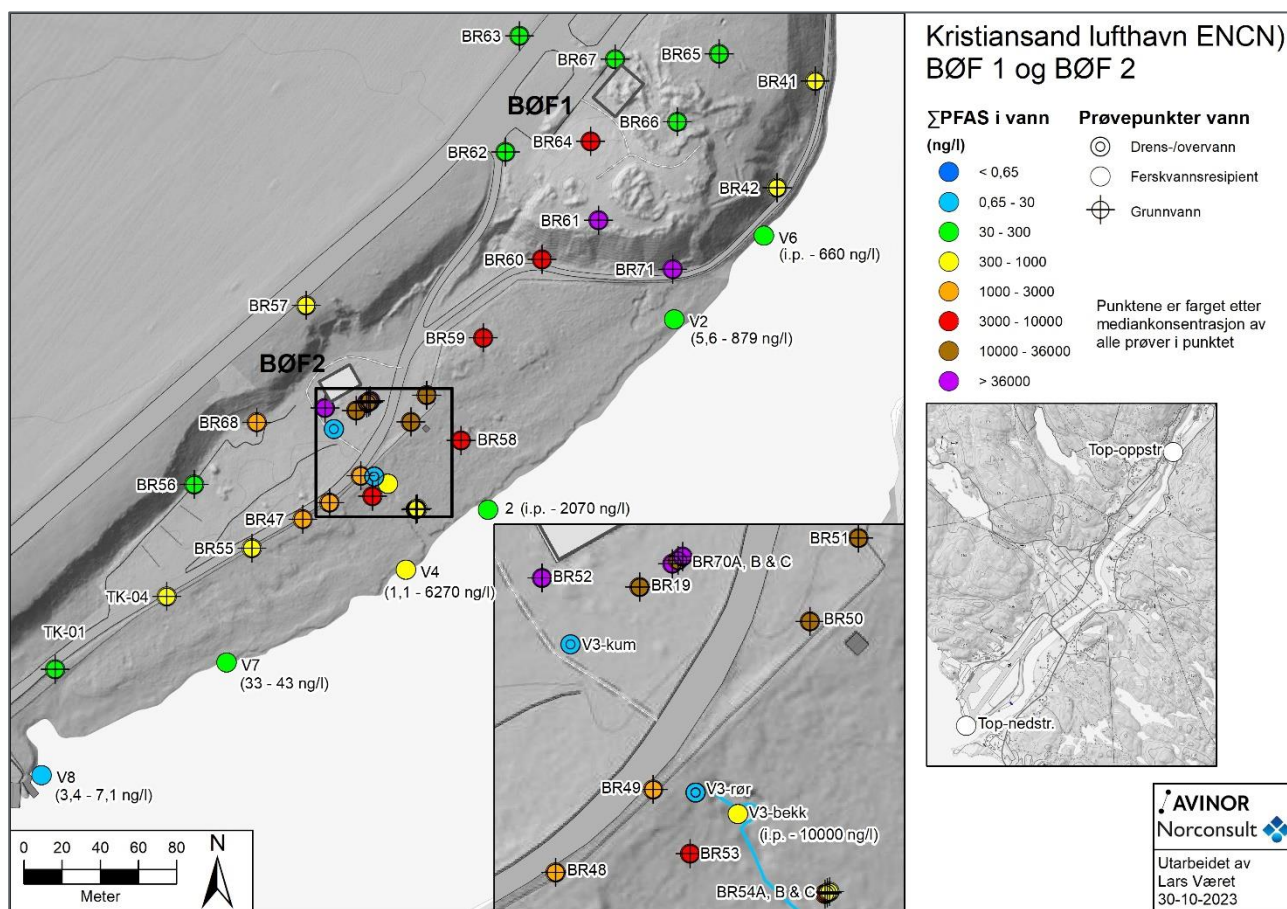
Det er for prøvepunkt i Topdalselva lenger nedstrøms brannøvingsfeltene (Top-nedstr.) i hovedsak påvist konsentrasjoner <30 ng/l. Prøvepunktet ligger i Topdalselvas utløp til Topdalsfjorden, og ettersom punktet ligger i blandingssonen mellom utstrømmende vann fra elven og fjorden, er vann i dette punktet ikke nødvendigvis representativt for verken elven eller fjorden. Andelen sjøvann og elvevann i punktet forventes å variere avhengig av tidevannssituasjonen, og dette kan ha påvirkning på konsentrasjonene av PFAS i prøvepunktet. Det er også påvist PFAS i prøvepunkt oppstrøms lufthavnen (Top-oppstr.), med mediankonsentrasjon <3 ng/l (n=23).

PFOS er klart dominerende enkeltforbindelse av PFAS i utstrømmende grunnvann fra de nedlagte brannøvingsfeltene (BØF1 og BØF2) ved Kristiansand lufthavn (~70% av Σ PFAS). Med hensyn på kroniske effekter ved langtidseksponering, er miljøkvalitetsstandard AA-EQS (årlig gjennomsnittsverdi) for PFOS og

¹ Av PFAS-forbindelser er det kun PFOS og PFOA som har etablerte miljøkvalitetsstandarder (EQS) og inngår ved klassifisering av miljøtilstand i vannforekomster [9]. Perfluoroktansulfonat (PFOS) er en prioritert miljøgift og inngår ved klassifisering av kjemisk tilstand. Perfluoroktansyre (PFOA) inngår i vannregionspesifikke stoffer, og er støtteparameter ved klassifisering av økologisk tilstand.

² I denne rapporten benyttes Σ PFAS for å angi sum av 30-35 enkeltforbindelser. Det vises til tiltaksplanen [3] for en nærmere oversikt over hvilke enkeltforbindelser som inngår.

dets derivater i ferskvann satt lavt (0,65 ng/l). På bakgrunn av at PFOS er lite akutt toksisk er MAC-EQS (maksimal verdi) satt til en mye høyere verdi (36 000 ng/l) [7]. Selv om det ikke foreligger målinger av PFOS i Topdalselva fra prøvepunkter som er direkte representative for vannforekomsten som helhet, der full innblanding av bidrag fra punktkilder og diffuse kilder kan forventes, så er det allikevel utfra foreliggende grunnlag klart at spredningen av PFOS fra de nedlagte brannøvingsfeltene ved lufthavnen i stor grad er medvirkende til at miljømål om god kjemisk tilstand ikke oppnås under dagens situasjon. Det må imidlertid her presiseres at det også er påvist PFOS i Topdalselva oppstrøms brannøvingsfeltene, i enkelte prøver i konsentrasjoner som overstiger AA-EQS, noe som betyr at gjennomføring av tiltak ved brannøvingsfeltene alene ikke nødvendigvis vil medføre at Topdalselva oppnår miljømål om god kjemisk tilstand.



Figur 2-1: Konsentrasjoner av ΣPFAS (ng/l) i grunnvann og overflatevann ved gammelt (BØF1) og sist nedlagt brannøvingsfelt (BØF2), gitt som mediankonsentrasjon av alle prøver i hvert enkelt punkt for perioden 2013-2022. Figur hentet fra [3].

2.2 Utslipp av rensset grunnvann

2.2.1 Utslippspunkt

Eksakt utslippspunkt for rensset grunnvann fra brannøvingsfeltene til Topdalselva vil først kunne fastsettes i den videre prosjekteringen av tiltaket, når løsning for avskjæring og oppsamling av grunnvann, samt tilhørende plassering av vannrenseanlegg, er bestemt. Per nå fremstår utslipp gjennom ledning fra vannrenseanlegg til Topdalselva som mest aktuelt.

For beregning av teoretiske konsentrasjoner i resipient som følge av utslipp av rensset grunnvann fra vannrenseanlegget (se kap. 2.3) er det lagt til grunn utslipp fra vannrenseanlegg direkte til Topdalselva for to scenarier; 1) full innblanding i hele elvens volumstrøm, og 2) innblanding begrenset til en grunnere og mer sakteflytende sone nærmest land der hvor utslippet mest sannsynlig vil bli lokalisert.

2.2.2 Utslippsmengder

Det er i tiltaksplanens kap. 6 estimert en samlet spredning av PFAS fra de to nedlagte brannøvingsfeltene (BØF1 og BØF2) på om lag 350-450 g/år [3]. Det er foreslått tiltak med avskjæring (pumpebrønner) av grunnvann med konsentrasjoner av Σ PFAS >1000 ng/l, som forventes å utgjøre >95% av dagens spredning, med rensing før utslipp til resipient.

Videre er det foreslått grenseverdi for utslippsvannet på 1000 ng/l, for forbindelser med karbonkjedelengde $\geq$ C6. Dette er å anse som en maksimal konsentrasjonsgrense, hvor det ikke tillates overskridelser av denne i noen enkeltprøver³. Det forventes imidlertid her at konsentrasjonene i utslippsvannet på det jevne vil ligge betydelig lavere, ved etablering av en egnet og godt driftet prosessløsning for vannrensing på lokaliteten.

Teoretisk beregnede årlige utslippsmengder fra vannrenseanlegget ved gitte utslippskonsentrasjoner i rensset vann fra renseanlegget er vist i Tabell 2-1. For vannmengder er det i beregningene benyttet de samme forutsetningene som ble lagt til grunn for spredningsmengder beregnet i tiltaksplanen. Det er både for dagens situasjon og for ulike utslippskonsentrasjoner ved et fremtidig tiltak, estimert at det vil være en spredning på om lag 20 g PFAS/år som ikke omfattes av tiltak. Dette vil da være i form av spredning via grunnvann fra områder med lavere konsentrasjoner i grunnvann (<1000 ng/l), utenfor avgrensningen av tiltaket.

Tabell 2-1: Beregnede utslippsmengder for Σ PFAS (g/år) til Topdalselva som følge av utslipp fra de nedlagte brannøvingsfeltene (BØF1 og BØF2), under dagens situasjon og ved ulike utslippskonsentrasjoner for et tiltak med rensing av grunnvann.

	Utslippsmengde omfattet av tiltaket (g/år)	Utslippsmengde, ikke omfattet av tiltaket (g/år)
Dagens situasjon	350-450	~ 20
Utslippskonsentrasjon Σ PFAS 200 ng/l	~10	~ 20
Utslippskonsentrasjon Σ PFAS 500 ng/l	~ 20	~ 20
Utslippskonsentrasjon Σ PFAS 1000 ng/l	~ 40	~ 20

³ Utslippsgrense for PFAS ble i tiltaksplanen [3] foreslått som en månedlig gjennomsnittskonsentrasjon. Etter nærmere vurderinger og dialog med Miljødirektoratet, foreslås denne nå å gjelde som en maksimal konsentrasjonsgrense. Dette da grenseverdier for utslipp i form av gjennomsnittskonsentrasjoner er vanskelig å styre etter i praksis, da gjennomsnittskonsentrasjoner til enhver tid vil avhenge av prøvetakingsfrekvens og antallet prøver som legges til grunn. For et tiltak som skal gå over lang tid, vil det også forventes at prøvetakingsprogram og hyppighet av prøvetaking vil kunne variere over tid, etter hvert som man innhenter erfaring fra drift av anlegget.

2.2.3 Andre forurensninger i grunnvannet

Miljødirektoratet etterspør i varselet også en vurdering av om det vil være behov for å rense grunnvannet for ytterligere stoffer enn det som er foreslått i tiltaksplanen. Det ble i tiltaksplanen kun foreslått grenseverdier for utslipp for PFAS og partikler (suspendert stoff, SS). Dette betyr imidlertid ikke at grunnvannet ikke vil renses for eventuelle andre miljøgifter som måtte forekomme i grunnvannet på lokaliteten.

Det foreligger per i dag lite informasjon om andre miljøgifter i grunnvannet på de nedlagte brannøvingsfeltene (BØF1 og BØF2). Basert på generell kjennskap til forurensning ved brannøvingsfelt, vil det imidlertid kunne forventes noe forurensning av blant annet tungmetaller, olje og oljerelaterte forbindelser. Denne type forurensning vil i stor grad være partikkelbundet, med en mindre andel løst i vannfasen. For den andel som er løst i vannfasen, vil disse stoffene i stor grad kunne fjernes i et vannrenseanlegg gjennom etablerte rensetrinn for fjerning av PFAS. Det vil derfor forventes lave konsentrasjoner av denne type stoffer i utløpsvann fra vannrenseanlegget. Det kan også her legges til at det ved vel etablert drift av pumpebrønner og vannrenseanlegg vil forventes lave konsentrasjoner av partikler (SS) i både utpumpet grunnvann og i utslippsvann fra vannrenseanlegget, betydelig under foreslått grenseverdi. Dette betyr at det også vil forventes et lavt bidrag av partikkelbundet forurensning til det samlede utslippet.

Det vil imidlertid være viktig å fremskaffe bedre dokumentasjon på forventede konsentrasjonsnivåer av andre stoffer utover PFAS og generell grunnvannskvalitet som grunnlag for videre prosjektering av tiltaket. Dette da forhøyede konsentrasjoner av andre typer forurensninger og oppløste stoffer i grunnvannet (eks. olje, løst organisk materiale, jern, mangan, mm.) kan ha betydning for nødvendige forbehandlingstrinn og valg av prosessløsning for vannrensing. Denne dokumentasjonen vil fremskaffes som del av undersøkelser gjennom forprosjektfasen for tiltaket.

2.3 Fortynning i resipient

For vurdering av innblanding og fortynning av utslippet i resipient er det tatt utgangspunkt i prinsippene skissert i Miljødirektoratets sigevannsveileder (M-2520/2023) [8]. Topdalselva er hovedelv i Topdalsvassdraget, med årlig middelavrenning på 35,5 l/s*km², tilsvarende ca. 66 m³/s [9]. Tidligere modellering av strømningshastighet i overflaten i nedre del av Topdalselva viser at hastigheten er relativt lav langs land, med betraktelig høyere vannvolum per tid lenger ute i elven [1] [10].

Det finnes ikke prøvepunkter som er representative for vannkvaliteten sentralt i elvens tverrsnitt ved eller like nedstrøms brannøvingsfeltene. Vannføringen i elven er imidlertid svært stor sammenliknet med estimert mengde utstrømmende grunnvann fra brannøvingsfeltene, og det må forventes betydelig grad av fortynning av et utslipp. Det er i tiltaksplanen for dagens situasjon estimert en årlig spredning av Σ PFAS fra brannøvingsfeltene på om lag 350-450 g/år, hvor PFOS utgjør en stor andel av den samlede spredningsmengden [3].

Gitt spredning i denne størrelsesorden, og forutsetning om *full innblanding* i Topdalselva tilsvarende middelavrenning, gir det en teoretisk konsentrasjon i Topdalselva på om lag 0,2 ng Σ PFAS /l som følge av spredning fra brannøvingsfeltene under dagens situasjon (Tabell 2-2). Beregninger av konsentrasjoner i Topdalselva som følge av utslipp av rensset grunnvann ved ulike utslippskonsentrasjoner for vann fra vannrenseanlegget gir gjennomgående lavere konsentrasjoner, dersom det legges til grunn middelavrenning for vannføring i Topdalselva. Gitt den korte avstanden fra BØF1 og BØF2 til sjø, er det imidlertid ikke rimelig å forvente full innblanding av PFAS fra brannøvingsfeltene i Topdalselva før utløp til sjø, noe også målte konsentrasjoner i vannprøver tatt langs land antyder (se Figur 2-1).

Tilsvarende beregninger av fortynning og konsentrasjoner i resipient er derfor også utført der det legges til grunn *innblanding i vannvolum i en begrenset sone langs land*, da også under forhold med middelavrenning i Topdalselva (Tabell 2-3). Angitte dybder i Topdalselva [11] og tidligere modellering av vannhastighet i forbindelse med utfylling for baneforlengelse [10], viser at elven er grunnest og har lavest hastighet nærmest land ved de nedlagte brannøvingsfeltene, med betydelig større dyp og hastighet i sentrale deler og nærmere land på motsatt side av elven. Med bakgrunn i dette, er det for beregning av fortynning og konsentrasjoner i resipient nærmest de nedlagte brannøvingsfeltene grovt estimert at ca. 3 % av middelavrenningen skjer innenfor en antatt sone 40 m nærmest land (ca. $\frac{1}{4}$ av elvens totale bredde).

Beregninger under disse forutsetningene gir gjennomgående lave forventede konsentrasjoner i Topdalselva i en sone nærmest land, dersom det legges til grunn utslippskonsentrasjoner på hhv. 200, 500 og 1000 ng/l. For dagens situasjon er det beregnet en teoretisk konsentrasjon av Σ PFAS på om lag 6 ng/l, som er på nivå med målte konsentrasjoner i punkt V8 nedstrøms brannøvingsfeltene, hvor god innblanding av tilførsel fra brannøvingsfeltene må kunne forventes (se Figur 2-1 for plassering av prøvepunkt).

For ulike utslippskonsentrasjoner fra et fremtidig vannrenseanlegg er beregnet resipientkonsentrasjon betydelige lavere (Tabell 2-3). Ved utslippskonsentrasjoner 200 ng/l og 500 ng/l er beregnede konsentrasjoner av Σ PFAS under AA-EQS for PFOS (0,65 ng/l). Ved en utslippskonsentrasjon på 1000 ng/l, gir beregningene en marginal overskridelse av AA-EQS, dersom AA-EQS for PFOS legges til grunn for Σ PFAS.

Det bemerkes at det i beregningene ikke er tatt hensyn til tidevannspåvirkning og hvordan dette eventuelt påvirker innblanding og fortynning. Som følge av kort avstand fra brannøvingsfeltene til sjø (om lag 500 m), vil det her i alle tilfeller forventes en rask videre fortynning av utslippene, til konsentrasjonsnivåer klart under AA-EQS.

Det ble i tiltaksplanen [3] foreslått at grenseverdi for utslippsvannet på 1000 ng/l skulle gjelde for forbindelser med karbonkjedelengde $\geq C6$. Dette fordi aktuelle renseløsninger som tilbys i markedet i dag, har liten effekt på kortkjedete forbindelser $<C6$, og det vil da være lite hensiktsmessig at disse forbindelsene omfattes av grenseverdier. Det er i beregningene av forventede konsentrasjoner i resipient ikke hensyntatt et eventuelt tilleggsbidrag fra kortkjedete forbindelser ($<C6$) i utslippsvannet. Basert på utførte målinger legges det imidlertid til grunn at forbindelser med karbonkjedelengde $<C6$ utgjør en mindre andel av Σ PFAS ($<5\%$) i grunnvannet på lokaliteten⁴, og bidraget fra disse forventes derfor ikke å ha en vesentlig påvirkning på konsentrasjoner i resipient ved et fremtidig utslipp av rensset grunnvann fra lokaliteten.

⁴ Kortkjedete forbindelser ($<C6$) som inngår i dagens analysepakke for PFAS i vann omfatter PFBA (C4), PFBS (C4), PFPeA (C5) og PFPeS (C5).

Tabell 2-2: Beregnede konsentrasjoner av Σ PFAS (ng/l) i Topdalselva som følge av utslipp fra de nedlagte brannøvingsfeltene (BØF1 og BØF2), under dagens situasjon og ved ulike utslippskonsentrasjoner for et tiltak med rensing av grunnvann. Beregningene forutsetter full innblanding av utslippet, under forhold med middelavrenning i Topdalselva. Det er i beregningene ikke hensyntatt bakgrunnskonsentrasjon av PFAS i Topdalselva.

	Utslippsmengde omfattet av tiltaket (g PFAS/år)	Utslippsmengde, ikke omfattet av tiltaket (g PFAS/år)	Årlig middelavrenning Topdalselva (1991- 2020) (m ³ /s)	Teoretisk konsentrasjon Topdalselva (ng/l)
Dagens situasjon	350-450	~ 20	66	0,2
Utslippskonsentrasjon Σ PFAS 200 ng/l	~10	~ 20	66	< 0,1
Utslippskonsentrasjon Σ PFAS 500 ng/l	~ 20	~ 20	66	< 0,1
Utslippskonsentrasjon Σ PFAS 1000 ng/l	~ 40	~ 20	66	< 0,1

Tabell 2-3: Beregnede konsentrasjoner av Σ PFAS (ng/l) i Topdalselva som følge av utslipp fra de nedlagte brannøvingsfeltene (BØF1 og BØF2), under dagens situasjon og ved ulike utslippskonsentrasjoner for et tiltak med rensing av grunnvann. Beregningene er gjort for en begrenset sone langs land (40 m), med begrenset dybde [11] og vannhastighet [10], under forhold med middelavrenning i Topdalselva. Det er i beregningene ikke hensyntatt bakgrunnskonsentrasjon av PFAS i Topdalselva.

	Utslippsmengde omfattet av tiltaket (g PFAS/år)	Utslippsmengde, ikke omfattet av tiltaket (g PFAS/år)	Andel av årlig middelavrenning Topdalselva (1991- 2020) lagt til grunn for sone langs land (3% av total for elven) (m ³ /s)	Teoretisk konsentrasjon Topdalselva (ng/l)
Dagens situasjon	350-450	~ 20	2	6,4
Utslippskonsentrasjon Σ PFAS 200 ng/l	~10	~ 20	2	0,4
Utslippskonsentrasjon Σ PFAS 500 ng/l	~ 20	~ 20	2	0,6
Utslippskonsentrasjon Σ PFAS 1000 ng/l	~ 40	~ 20	2	0,9

2.4 Plan for prøvetaking

En overordnet plan for prøvetaking under gjennomføring av tiltak ved brannøvingsfeltene er vist i Tabell 2-4.

Grunnvann som pumpes opp fra de to brannøvingsfeltene vil ledes til vannrenseanlegg i separate vannstrømmer, en delstrøm fra BØF1 og en fra BØF2. Hver delstrøm må prøvetas og analyseres for PFAS og andre relevante vannkvalitetsparametere (bestemmes gjennom videre prosjektering) før videre innløp til vannrenseanlegget. Dette for å kunne vurdere effekt av tiltak for hvert av brannøvingsfeltene hver for seg, og videre nødvendig varighet av tiltak. Renset grunnvann ledes til utslipp i resipient (Topdalselva). Overholdelse av grenseverdier for utslipp vil dokumenteres gjennom uttak av vannmengdeproporsjonale blandprøver, eventuelt i kombinasjon med stikkprøver, dersom dette vurderes hensiktsmessig for best mulig oppfølging av drifts- og prosessløsning.

I en oppstartsfase av tiltaket, vil det være aktuelt med hyppig prøvetaking (eksempelvis ukentlig) av innløps- og utløpsvann fra renseanlegget, for å sikre en mest mulig optimalisert drift og overholdelse av grenseverdier for utslipp. Ved god og stabil drift, og klar overholdelse av grenseverdier, vil man over tid kunne vurdere å redusere prøvetakingshyppigheten. Omfanget av prøvetaking vil til en viss grad også avhenge av type prosessløsning som blir valgt for vannrensing på lokaliteten.

Det vil etableres miljøbrønner/overvåkningsbrønner nedstrøms tiltaksområdene for uttak av vannprøver før, under og etter etablering av tiltak (se Figur 3-1). Noen allerede etablerte grunnvannsbrønner vil kunne videreføres i overvåkingen. Denne overvåkingen er for å kunne dokumentere at forurensset grunnvann avskjæres og samles til renseanlegget, og ikke går til resipient som i dag. Det legges opp til månedlig prøvetaking minimum ett år før tiltak for å dokumentere før-tilstand, og videre månedlig prøvetaking under gjennomføring av tiltaket.

Det vil også tas jevnlige prøver i Topdalselva ved utslippspunktet, for å dokumentere den lokale påvirkningen av utslippet. Det vil videre etableres to prøvepunkt i Topdalselva hhv. oppstrøms og nedstrøms plasseringen av utslippet, for dokumentasjon av konsentrasjonsnivåer før og etter antatt full innblanding av utslippet fra vannrenseanlegget. Det vil for disse punktene være aktuelt med kvartalsvis prøvetaking.

Det legges opp til undersøkelser for prøvetaking av biota før tiltaksetablering for å dokumentere før-tilstand, og det vil som del av oppfølging etter tiltaksetablering gjennomføres prøvetaking av biota i resipient første gang 3 år etter etablering av tiltak, og videre hvert 5. år.

Det bør da fortrinnsvis tas prøver av stasjonær biota (eksempelvis skrubbe, 3 pigget eller 9 pigget stingsild) i Topdalselva like ved utslippet for rensset grunnvann fra brannøvingsfeltene.

Tabell 2-4: Overordnet plan for prøvetaking under gjennomføring av tiltak.

Prøvetype	Beskrivelse	Prøvetakingsfrekvens
Vannrenseanlegg		
RA-inn	Innløpsvann til vannrenseanlegg (utpumpet grunnvann)	Ukentlig
RA-ut	Utløpsvann fra vannrenseanlegg	Ukentlig
Grunnvannsbrønner		
Antatt 8-10 brønner*	Grunnvannsbrønner nedstrøms brannøvingsfeltene	Månedlig
Resipient		
<i>Vannprøver</i>		
Utslippspunkt	Topdalselva like ved utslippspunkt	Hvert kvartal
Oppstrøms	Topdalselva oppstrøms utslippspunkt	Hvert kvartal
Nedstrøms	Topdalselva nedstrøms utslippspunkt, etter innblanding av utslippet	Hvert kvartal
<i>Biota</i>		
Fisk	Stasjonær biota (eksempelvis skrubbe, 3 pigget eller 9 pigget stingsild) i Topdalselva like ved utslippet for rensset grunnvann. Annen aktuell biota kan også vurderes.	Hvert 3-5 år

* Antatt 8-10 brønner, men dette vil måtte vurderes nærmere avhengig av utforming av tiltakene (tildekking og pumpebrønner).

2.5 Videre prosjektering

Tiltaksplanen utarbeidet i 2023 [3] ble utarbeidet på skissenivå, hvor de foreslåtte tiltakene kun ble overordnet vurdert og beskrevet med tanke på egnethet og gjennomføring. De aktuelle tiltakene vil nå vurderes nærmere i en forprosjektfase, og deretter videre i en detaljprosjektering.

For tiltaket med rensing av grunnvann på BØF2 ble det i tiltaksplanen signalisert at det i den videre prosjekteringen kan være aktuelt å se på muligheter for å redusere samlet varighet av et tiltak med rensing av grunnvann, gjennom å vurdere kombinasjoner med andre tiltaksløsninger [3].

Muligheter for å øke effekt og redusere total varighet av tiltaket ved BØF2 vil vurderes nærmere i den videre prosjekteringen for tiltaket. Miljødirektoratet gir også åpning for en slik vurdering i varselet om pålegg [4].

3 Tildekkingstiltak

3.1 Krav til tildekkingslag

Miljødirektoratet signaliserer i varsel om pålegg at det vil «... vurdere å stille ytterligere krav til tildekkingslaget, for eksempel i lys av hva som er vanlig kravstilling ved lignende tiltak som avslutning av deponier» [4].

I veileder til deponiforskriften (TA-1951/2003) er det gitt *anbefalinger* for oppbygging av topptetting ved avslutning av et deponi for å forebygge sigevannsdannelse og redusere utslipp av deponigass, der anbefalingene varierer for ulike deponikategorier [12]. Det er derfor uklart hva Miljødirektoratet i sitt varsel mener med *vanlig kravstilling* knyttet til tildekkingslaget i denne sammenheng.

Hensikten med topptetting ved avslutning av et deponi er primært å lede nedbørsvann bort fra deponiområdet (her *det tildekkede området*) for å begrense infiltrasjon og sigevannsdannelse. Dette anbefales i form av impermeabelt minerallag og/eller kunstig tetningsmembran, samt overliggende dreneringslag for å lede overflatevannet bort fra det tildekkede området.

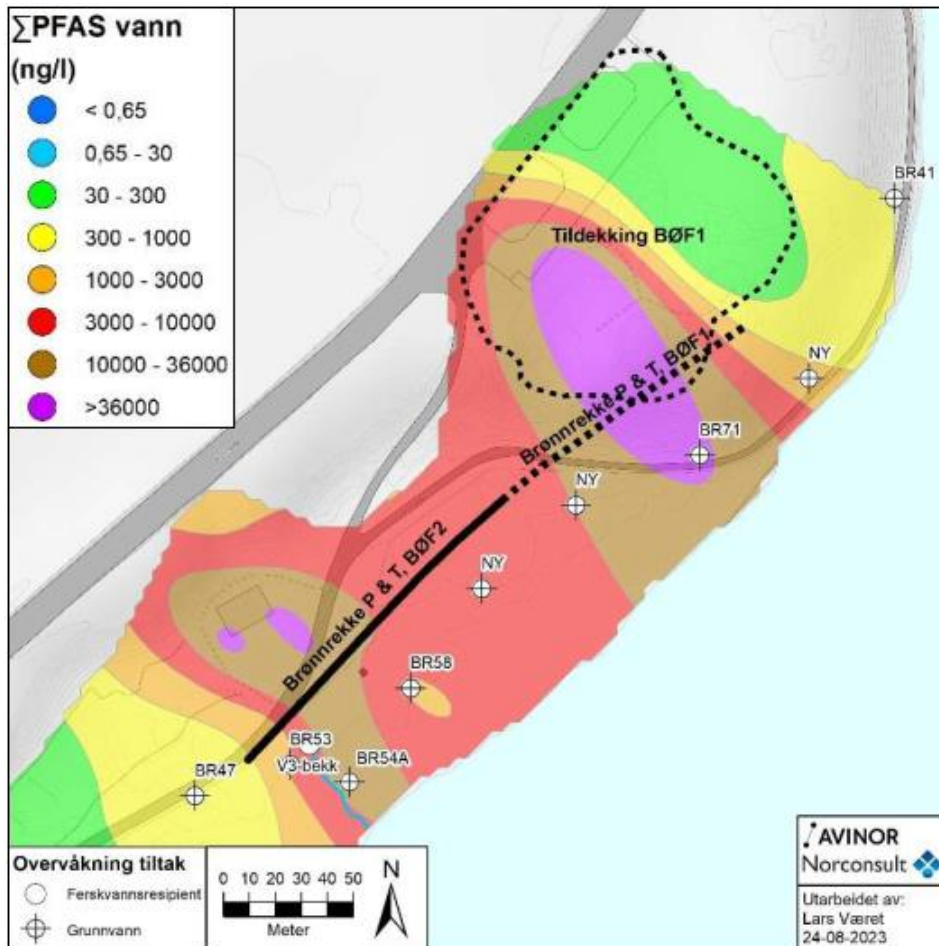
I tiltaksplanens kap. 10.3.1 er det skissert en løsning bestående av bentonittmembran og HDPE-membran, med beskyttelsesduk (fiberduk), under et lag med minimum 30 cm overdekningsmasser ($D_{\max}$ 25 mm) [3]. Det er i tiltaksplanen tatt forbehold om behov for å øke overdekning til minimum 80 cm dersom planlagt etterbruk tilsier dette. Den skisserte løsningen vurderes derfor å hensynta anbefalingene i veilederen knyttet til å hindre/begrense infiltrasjon i forurensede masser, med påfølgende utlekking til grunnvann og videre til resipient. Den endelige utformingen av tildekkingslaget vil være gjenstand for videre detaljprosjektering, og vil hensynta lufthavnens planlagte etterbruk av området, eventuelt behov/ønske om revegetering av området med mer, samtidig som tildekkingstiltaket opprettholder sin tiltenkte funksjon.

3.2 Plan for overvåkning og vedlikehold

I veileder til deponiforskriften antas det at en kunstig membran vil miste sine egenskaper og gradvis brytes ned i tidsperioden mellom 100 år og 200 år etter etablering [12]. Med utforming av tildekkingslaget tilpasset arealbruk forventes derfor ikke behov for vedlikehold av membran innenfor et hundreårs perspektiv.

Selve membranen vil være utilgjengelig for inspeksjon. Det legges imidlertid opp til visuell inspeksjon av toppdekket en gang per år, med vurdering av behov for etterfylling/utbedring dersom inspeksjonen avdekker forsenkninger eller sprekkdannelser i toppdekket. I tillegg vil terrenget måles inn etter ferdigstilt tiltak, med gjentak etter 2, 5 og 10 år, deretter hvert 10. år. Dette, sammen med overvåkning av tiltakseffekt i brønner nedstrøms tiltaksområdet, vil danne grunnlaget for løpende vurdering av vedlikeholdsbehov. Rutiner for visuell inspeksjon og innmåling av terreng vil inngå som del av lufthavnens driftsrutiner og miljøovervåkningsprogram, samt at tildekket areal med tilknyttede arealbruksbegrensinger legges inn i Avinors kart og rutiner.

Som det fremgår av tiltaksplanens kap. 12 legges det opp til etablering av overvåkningsbrønner mellom tiltaksområdet og resipient (Topdalselva) [3]. I tiltaksplanen er det også vist en *mulig* plassering av brønnrekke for en slik overvåkning (se Figur 3-1). Denne overvåkningen vil omfatte både tildekking som primærtiltak (rettet mot forurensning i umettet sone), og grunnvannsrensing som sekundærtiltak (rettet mot forurensning i mettet sone), frem til sekundærtiltaket eventuelt kan avsluttes. Overvåkning i miljøbrønner vil videreføres også etter en avslutning av sekundærtiltak, og således fungere som overvåkning av primærtiltakets (membranens) effekt i et lengre perspektiv.



Figur 3-1: Mulig plassering av brønner for overvåkning av grunnvann nedstrøms brannøvingsfeltene, før og under gjennomføring av tiltak. Flere av brønnpunktene er allerede etablert i dag. Figur hentet fra [3]. Fargede polygoner representerer interpolert konsentrasjonsfordeling basert på målte konsentrasjoner av ΣPFAS i grunnvann.

4 Referanser

- [1] Norconsult, «Tiltaksplan Kristiansand lufthavn, Kjevik,» 2015.
- [2] Miljødirektoratet, «Kristiansand lufthavn, Kjevik - Pålegg om utarbeidelse av tiltaksplan,» Pålegg datert 17. juli 2014, 2014.
- [3] Norconsult AS, «Tiltaksplan for PFAS-forurensset grunn. Kristiansand lufthavn Kjevik. Nedlagte brannøvingsfelt (BØF1 og BØF2),» 2023.
- [4] Miljødirektoratet, «Varsel om pålegg om å gjøre tiltak i PFAS-forurensset grunn ved Kristiansand lufthavn, Kjevik, i Kristiansand kommune,» Varsel om pålegg datert 23. januar 2025, 2025.
- [5] NVE, «Vann-nett portal,» April 2025. [Internett]. Available: <http://www.vann-nett.no/portal/>.
- [6] Norconsult Norge AS, «Undersøkelser av vannforekomster ved Kristiansand lufthavn,» Norconsult rapport 52400267-RIM01-rev. J03, 2024.
- [7] Direktoratgruppen vanndirektivet, «Veileder 02:2018. Klassifisering av miljøtilstand i vann,» 2018.
- [8] Miljødirektoratet, «Veileder. Håndtere sigevann fra deponi.,» [Internett]. Available: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/for-naringsliv/deponere-avfall/sigevannsveilederen/>. [Funnet 14 04 2025].
- [9] NVE, «NEVINA,» 07 04 2025. [Internett]. Available: <https://nevina.nve.no/>.
- [10] Norconsult AS, «Strømningsberegninger for utfylling av utløpet av Topdalselva.,» 2010.
- [11] Kartverket, «Høydedata,» [Internett]. Available: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn2/>. [Funnet 27 04 2025].
- [12] SFT, «Veileder til deponiforskriften,» 2003.