

Avinor AS

► Kildesporing av per- og polyfluorerte forbindelser (PFAS)

Stavanger lufthavn Sola

Resultater fra oppfølgende undersøkelser og overordnede tiltaksvurderinger

Oppdragsnr.: 5205614 Dokumentnr.: RIM19-ENZV Versjon: E05 Dato: 2025-10-28



Oppdragsgiver: Avinor AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Trine Reistad
Rådgiver: Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika
Oppdragsleder: Aina Marie Nordskog
Fagansvarlig: Annelene Pengerud og Lars Været
Andre nøkkelpersoner: Ingvild Celin Schmidt, Tonje Kilhavn, Anders Lund

Forsidebilde: Overvannssystemet på sentralområde på lufthavnen (Delområde 2) har utløp i rensepark, før videre utløp i resipient Solavika vest for lufthavnen (foto: Norconsult Norge AS).

E05	2025-10-28	Til myndighet - revidert etter kommentar	Annelene Pengerud Lars Været Aina Marie Nordskog	Lars Været	Aina Marie Nordskog
E04	2025-09-02	Til myndighet	Annelene Pengerud Lars Været Aina Marie Nordskog	Lars Været	Aina Marie Nordskog
B03	2024-12-23	For kommentar - innarbeidet tiltaksvurderinger	Annelene Pengerud Lars Været Aina Marie Nordskog	Lars Været	Aina Marie Nordskog
B02	2024-09-30	For kommentar	Annelene Pengerud Lars Været	Lars Været	Aina Marie Nordskog
A01	2024-09-29	For fagkontroll	Annelene Pengerud Lars Været	Lars Været	Aina Marie Nordskog
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. 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.

► Sammendrag

Bakgrunn

I september 2022 rettet Miljødirektoratet et pålegg til Avinor om utarbeidelse av tiltaksplan for opprydding i grunn som er forurensset av per- og polyfluoreerte forbindelser (PFAS) ved Stavanger lufthavn. Miljødirektoratet påla Avinor å utarbeide en tiltaksplan for de to brannøvingsfeltene ved lufthavnen med frist 15. januar 2023. Det skulle videre gjennomføres ytterligere kildesporing og kartlegging av PFAS-forurensning ved øvrige områder på lufthavnen, inkludert vurdering av behov og mulighet for tiltak, med frist 1. september 2023.

Det ble i 2023 gjennomført innledende kildesporing og spredningsvurderinger for å svare ut deler av påleggets krav om ytterligere kildesporing og kartlegging av PFAS-forurensning på lufthavnen (utover brannøvingsfeltene). Den innledende kildesporingen ga grunnlag for å vurdere spredning av PFAS for hele Stavanger lufthavn under ett, men undersøkelsene ga ikke et tilstrekkelig grunnlag for å vurdere totale mengder i jord eller nærmere vurderinger av aktuelle tiltak for de ulike delområdene.

I denne rapporten presenteres resultater fra oppfølgende undersøkelser i de delområdene som gjennom innledende kildesporing viste å bidra mest til den samlede spredningen av PFAS fra lufthavnen. Dette er områder med avrenning til Regebekken (omtalt som *Delområde 1*), som blant annet omfatter aktivt brannøvingsfelt (BØF1), gammelt brannøvingsfelt (BØF2) og område for tidligere brannøving (BØF3), og sentralområde på lufthavnen med avrenning via overvannssystem til rensepark (*Delområde 2*). Begge disse delområdene har utløp i Solavika vest for lufthavnen. For *Delområde 3* og *4*, med avrenning mot Sømmevågen i Hafrsfjord, ble det i rapport fra innledende kildesporing konkludert med at mengdene PFAS som spres fra lufthavnens område er begrenset.

Oppfølgende undersøkelser og kildesporing

Delområde 1

Resultater fra innledende kildesporing og spredningsberegninger viste at det tilføres PFAS til Regebekken fra områder på lufthavnen oppstrøms det aktive (BØF1) og nedlagte (BØF2) brannøvingsfeltet. I dette området ligger blant annet område for tidligere brannøving (BØF3) og rusegrop, hvor det er påvist noe PFAS-forurensning gjennom tidligere utførte undersøkelser. Det ligger også en nedlagt avfallsfylling i dette området, som ikke tidligere er kartlagt for PFAS. Oppfølgende undersøkelser i *Delområde 1* omfattet derfor miljøtekniske grunnundersøkelser for bedre kartlegging av PFAS-forurensning innenfor disse områdene. Det ble utført prøvetaking av jord ved sjaktning til like under grunnvannsnivå i totalt 58 prøvepunkter. Det ble også etablert grunnvannsbrønner. Det ble påvist lave til moderate konsentrasjoner av PFAS (i hovedsak <150 µg ΣPFAS/kg) innenfor hele det undersøkte området, og utførte mengdeberegninger tilsier at det ligger en total mengde PFAS på om lag 6 kg innenfor det aktuelle området. Dette er da en mengde som er fordelt over et stort areal og et stort volum masser.

Oppfølgende undersøkelser for kildesporing har i liten grad vært rettet mot det aktive (BØF1) og nedlagte (BØF2) brannøvingsfeltet. For det aktive brannøvingsfeltet (BØF1) er det på grunnlag av tidligere kartlegginger vurdert til å ikke være behov for tiltak. For gammelt brannøvingsfelt (BØF2) er det gjennomført tiltak med oppgraving og ekstern deponering av PFAS-forurensede masser. Dette tiltaket ble ferdigstilt i desember 2024, og sluttrapport for tiltaket er oversendt Miljødirektoratet.

Delområde 2

Tidligere utført prøvetaking i overvannsutløp mot Solavika har vist at det skjer en spredning av PFAS fra sentralområdet på lufthavnen til sjø. Resultater fra innledende kildesporing med stikkprøvetaking av vann i kummer i overvannssystem i Delområde 2 viste høyeste konsentrasjoner i overvann i område ved brannstasjon (i bruk siden tidlig 1980-tall), med en tendens til avtakende konsentrasjonsnivåer fra område ved brannstasjon og videre nedover i overvannssystemet mot utløpet til sjø. På bakgrunn av påviste konsentrasjoner i innledende kildesporing, ble det derfor i oppfølgende kildesporing supplert med flere prøvepunkter i kummer i område ved brannstasjon. Det ble påvist lave konsentrasjoner i alle disse kummene (<30 ng/l), og gjennomgående lavere konsentrasjoner sammenliknet med første prøvetaking.

Tiltaksvurderinger

Delområde 1

Det er utført en overordnet vurdering av egnethet for aktuelle tiltaksmetoder for område for tidligere brannøving (BØF3) og rusegrop. Oppsummert vurderes et tiltak med oppgraving og ekstern deponering av masser, eller etablering av en reaktiv barriere i mettet sone nedstrøms det forurensede området, som mest aktuelle for å redusere spredning av PFAS fra dette området.

Beregnet basiskostnad for et tiltak med oppgraving med ekstern deponering av masser ved konsentrasjonsgrenser 500 og 150 µg/kg er henholdsvis 13,7 MNOK og 22,9 MNOK, med en estimert kost/effekt på henholdsvis 12,9 MNOK/kg PFAS og 11,0 MNOK/kg PFAS. Et tiltak ved begge disse konsentrasjonsgrensene gir en begrenset samlet effekt av tiltaket i form av mengde PFAS fjernet, henholdsvis 17% og 34% av total beregnet mengde. Oppgraving og ekstern deponering av masser med konsentrasjoner >30 µg/kg har en beregnet basiskostnad på 75 MNOK, og en estimert kost/effekt på 20 MNOK/kg PFAS fjernet. Et tiltak med denne konsentrasjonsgrense vil innebære at man fjerner totalt 3,7 kg PFAS fra lokaliteten, tilsvarende om lag 61% av total beregnet mengde. Dette er for alle vurderte konsentrasjonsgrenser relativt høye kostnader per kg PFAS fjernet, noe som i stor grad skyldes at mengdene PFAS på denne lokaliteten er fordelt over et stort areal og volum masser.

Beregnet basiskostnad for et tiltak med reaktiv barriere er estimert til om lag 31 MNOK. Gitt stor usikkerhet i årlig spredningsmengde, og dermed usikkerhet knyttet til nødvendig varighet av tiltaket, er det ikke beregnet effekt (kg PFAS fjernet) for et slikt tiltak. Det er imidlertid grunn til å forvente at en slik tiltaksløsning vil bidra til en betydelig reduksjon i spredningsmengde for PFAS fra område ved BØF3 og rusegrop (>90% reduksjon i konsentrasjonsnivåer). Dette vil da gjelde for spredning både fra både kartlagt og ev. ikke-kartlagt forurensning i dette området.

Det bemerkes at det er usikkerheter knyttet til aktuelle løsninger for reaktiv barriere med tanke på langtidseffekter, behov for reinjeksjon og om bundet PFAS vil kunne lekke ut igjen over tid. Et tiltak med reaktiv barriere vil kreve oppfølging i form av overvåkning i lang tid etter gjennomført tiltak.

Delområde 2

Overvannssystemet i Delområde 2 mottar avrenning fra store arealer med tette flater, og det er vanskelig å identifisere aktuelle kilder kun basert på påviste konsentrasjoner i de enkelte kummene. Påviste konsentrasjoner kan forventes å variere betydelig avhengig av nedbør i forkant av prøvetaking, og utforming på kum (tett/ikke tett). Selv om det ved oppfølgende prøvetaking ble påvist lavere konsentrasjoner i kummer i området ved brannstasjon, er det allikevel antatt at område ved brannstasjon er en mulig hovedkilde til samlet spredning gjennom overvannssystemet i dette delområdet. Dette med bakgrunn i nærhet til brannstasjon, hvor det er sannsynlig at det har forekommet ulik aktivitet med håndtering av brannskum

bakover i tid. Men samlede resultater tilsier også at det er andre kilder til påvist PFAS i dette overvannssystemet.

Resultater fra utført kildesporing har så langt ikke gitt grunnlag for å identifisere enkeltkilder eller «hotspots» som bidrar til en større andel av den samlede spredningen av PFAS via overvannssystemet til Solavika. Kilder er derfor ikke tilstrekkelig kartlagt til at konkrete tiltak kan vurderes og kostnadsberegnes. Sentralområdet på lufthavnen er dominert av mye tette flater og infrastruktur, sammen med lufthavntrafikk. Disse forholdene vanskeliggjør videre kildesporing i dette området.

All den tid kilder ikke er tilstrekkelig kartlagt og identifisert, vil det eksempelvis ikke være grunnlag for å rette et vannrensetiltak inn mot en avgrenset del av overvannssystemet. Et tiltak med rensing av vann i utløpet ved renseseparken forventes å ville ha en høy total kostnad (investering og drift), da et slikt anlegg vil måtte dimensjoneres for en betydelig vannmengde dersom det skal håndtere en større andel av den totale avrenningen til Solavika.

Videre oppfølging

Det vil utarbeides et program for videre oppfølging av kildesporingsarbeidet på Stavanger lufthavn.

Delområde 1

Det samlede spredningsbildet til Regebekken er fortsatt uklart. Det er tidligere beregnet en betydelig spredningsmengde for PFAS i Regebekken, hvor det ble lagt til grunn at bidraget fra det gamle brannøvingsfeltet (BØF2) utgjorde største andel av den totale spredningsmengden. Det er nå gjennomført tiltak på BØF2, hvor man har fjernet en stor andel av kjent forurensning på feltet, men konsentrasjonene i Regebekken er fortsatt på nivå med konsentrasjonsnivåer før tiltak.

Det er dokumentert en nedgang i konsentrasjonsnivåer i grunnvann som strømmer fra BØF2 til Regebekken, og det er derfor grunn for å anta at man noe fram i tid vil se reduserte konsentrasjonsnivåer også i Regebekken. Per nå er det imidlertid en for kort tidsperiode etter gjennomført tiltak til at faktisk effekt av tiltaket kan dokumenteres. Basert på gjennomgang av foreliggende datagrunnlag og kjennskap til spredningsmønster, er det allikevel grunn for å anta at bidraget fra andre kilder, inkludert det aktive brannøvingsfeltet (BØF1), mulig har vært noe underestimert.

Det gjennomføres i dag månedlig prøvetaking for å dokumentere konsentrasjonsnivåer i grunnvann og Regebekken etter gjennomført tiltak på gammelt brannøvingsfelt (BØF2). For en nærmere kartlegging av mulige bidragsyttere til påvist PFAS i Regebekken, vil denne overvåkingen i en periode framover utvides til å omfatte flere prøvepunkt både på det aktive brannøvingsfeltet (BØF1) og for kartlegging av mulige bidrag fra oppstrøms kilder.

Det vil være viktig å fremskaffe et sikrere grunnlag for å estimere faktiske spredningsmengder, da spredningsmengde vil være styrende for vurderinger av fremtidige tiltaksbehov. Den største usikkerheten når det gjelder spredningsmengde er knyttet til tall for vannmengder som benyttes inn i beregningene. Det er tidligere gjort forsøk på å etablere vannføringsmålinger i Regebekken, men det var her vanskelig å finne egnet plassering i bekken, sammen med ulike måletekniske utfordringer. Det anbefales allikevel at man her engasjerer en ekstern leverandør for å på nytt forsøke å etablere slike målinger.

Delområde 2

Det vil for Delområde 2 gjøres en nærmere vurdering av om det finnes ny, alternativ prosesssteknologi som kan være aktuelt for et vannrensetiltak i dette overvannssystemet. Det finnes i dag nye, alternative prosessløsninger som mulig kan være kostnadseffektive alternativer til en konvensjonell løsning med fjerning av PFAS i en filterbasert løsning.

Tilsvarende som for Regebekken, så vil det også for overvannsystemet i Delområde 2 være viktig å fremskaffe et sikrere grunnlag for å estimere faktiske spredningsmengder, da spredningsmengde vil være styrende for vurderinger av fremtidige tiltaksbehov og aktuelle tiltaksløsninger. Det er tidligere gjort forsøk på å etablere vannføringsmålinger i utløpet av overvannssystemet til renseparken, men disse har så langt ikke gitt tilfredsstillende data grunnet ulike måletekniske utfordringer. Det anbefales her at man engasjerer en ekstern leverandør for å på nytt forsøke å etablere slike målinger i renseparken.

Vannføringsmålinger, sammen med hyppigere målinger av vannkvalitet (PFAS og andre relevante vannkvalitetsparametere) i renseparken, vil utgjøre et viktig grunnlag for nærmere vurderinger av behov for tiltak og alternative prosessløsninger for en vannrenseløsning.

► Innhold

1	Bakgrunn	8
1.1	Pålegg fra Miljødirektoratet	8
1.2	Tiltaksplan brannøvingsfelt	8
1.3	Strategi for kildesporing	9
1.4	Resultater fra innledende kildesporing	9
2	Utførte undersøkelser	12
2.1	Delområde 1: OV-system Regebekken	12
2.1.1	<i>Område for tidligere brannøving (BØF3) og nedlagt avfallsfylling</i>	12
2.1.2	<i>Aktivt brannøvingsfelt (BØF1)</i>	13
2.1.3	<i>Oppfølgende overvåkning etter tiltak gammelt brannøvingsfelt (BØF2)</i>	14
2.2	Delområde 2: OV-system Rensepark	14
3	Resultater og diskusjon	15
3.1	Delområde 1: OV-system Regebekken	15
3.1.1	<i>Område for tidligere brannøving (BØF3) og nedlagt avfallsfylling</i>	15
3.1.2	<i>Aktivt brannøvingsfelt (BØF1)</i>	20
3.2	Delområde 2: OV-system Rensepark	22
4	Tiltaksvurderinger	25
4.1	Delområde 1: OV-system Regebekken	25
4.2	Delområde 2: OV-system Rensepark	28
5	Kostnadsberegninger	29
5.1	Oppgraving med ekstern deponering	30
5.1.1	<i>Forutsetninger</i>	30
5.1.2	<i>Kostnader</i>	30
5.2	Reaktiv barriere	33
5.2.1	<i>Forutsetninger</i>	33
5.2.2	<i>Kostnader</i>	34
6	Videre oppfølging	35
6.1	Delområde 1: OV-system Regebekken	35
6.2	Delområde 2: OV-system Rensepark	37
7	Referanser	38

1 Bakgrunn

1.1 Pålegg fra Miljødirektoratet

I september 2022 rettet Miljødirektoratet et pålegg til Avinor om utarbeidelse av tiltaksplan for opprydding i grunn som er forurensset av PFAS ved Stavanger lufthavn. Dette som del av et samlet pålegg for utarbeidelse av tiltaksplaner for fem lufthavner, herunder Stavanger, Alta, Haugesund, Kristiansund og Kirkenes lufthavn [1]. Miljødirektoratet påla Avinor å utarbeide en tiltaksplan for de to brannøvingsfeltene ved Stavanger lufthavn med frist 15. januar 2023. Det skulle videre gjennomføres ytterligere kildesporing og kartlegging av PFAS-forurensning ved øvrige områder på lufthavnen, inkludert vurdering av behov og mulighet for tiltak, med frist 1. september 2023.

Påleggets krav til videre kartlegging og kildesporing er formulert som følger (jf. påleggets krav 10.1 – 10.3):

- 10.1 *Avinor skal gjennomføre ytterligere kildesporing og kartlegging av PFAS-forurensning på resten av lufthavnens område (det vil si; utenom brannøvingsfeltene). Kartleggingen skal være tilstrekkelig detaljert til å vurdere totale mengder og spredningen av PFAS for hele Stavanger lufthavn sett under ett.*
- 10.2 *Ut fra kartleggingen av ytterligere PFAS-forurensning (i krav 10.1): Vurdere om det kan være aktuelt å gjennomføre ytterligere tiltak utenom brannøvingsfeltene for å rydde opp i en uakseptabel forurensning eller begrense spredninger av PFAS ut fra lufthavnens område.*
- 10.3 *Resultatene fra kildesporingen, kartleggingen og tiltaksvurderingene skal sammenstilles i en rapport. Rapporten skal sendes inn til Miljødirektoratet innen 1. september 2023.*

Det ble i 2023 gjennomført innledende kildesporing og spredningsvurderinger for å svare ut deler av påleggets krav om ytterligere kildesporing og kartlegging av PFAS-forurensning på lufthavnen (utover brannøvingsfeltene). Den innledende kildesporingen ga grunnlag for å vurdere spredning og beregne spredningsmengder for PFAS for hele Stavanger lufthavn under ett, men undersøkelsene ga ikke et tilstrekkelig grunnlag for å vurdere totale mengder i jord for hele lufthavnen, eller nærmere vurderinger av aktuelle tiltak for de ulike delområdene. Resultater fra innledende kildesporing er presentert i en egen rapport [2], som tidligere er oversendt Miljødirektoratet.

I denne rapporten presenteres resultater fra oppfølgende undersøkelser i de delområdene som gjennom innledende kildesporing viste å bidra mest til den samlede spredningen av PFAS fra lufthavnen. Dette er områder med avrenning til Regebekken (omtalt som *Delområde 1*), som blant annet omfatter aktivt brannøvingsfelt (BØF1), gammelt brannøvingsfelt (BØF2) og område for tidligere brannøving (BØF3), og sentralområde på lufthavnen med avrenning via overvannssystem til rensepark (*Delområde 2*). Avrenning fra begge disse delområdene har utløp til Solavika vest for lufthavnen. For *Delområde 3* og *4*, med avrenning mot Hafrsfjord/Sømmevågen, ble det konkludert med at mengdene PFAS som spres fra lufthavnens område er begrenset.

1.2 Tiltaksplan brannøvingsfelt

Tiltaksplan for brannøvingsfeltene (BØF1 og BØF2) ble oversendt Miljødirektoratet 15. januar 2023 [3]. For det aktive brannøvingsfeltet (BØF1) ble det på grunnlag av forurensningssituasjon vurdert til å ikke være behov for tiltak. For gammelt brannøvingsfelt (BØF2) er det gjennomført tiltak med oppgraving og ekstern deponering av masser. Oppryddingstiltaket ble ferdigstilt i desember 2024, og sluttrapport for tiltaket er oversendt Miljødirektoratet [4].

1.3 Strategi for kildesporing

Erfaringer fra gjennomført kildesporing av PFAS ved andre lufthavner (eks. Harstad/Narvik og Bergen lufthavn) viser at man ofte vil kunne påvise lave konsentrasjoner av PFAS over store deler av lufthavnområdet, også i områder hvor det ikke har forekommet kjent øvingsaktivitet med brannskum bakover i tid. Konsentrasjonsnivåer i vann vil imidlertid variere avhengig av vanntype (grunnvann, drens-/overvann, bekk/elv), nylige nedbørshendelser, vannføring i punktet og avstand fra en eventuell kilde, og erfaringer tilsier at det er først ved prøvetaking relativt nært en forurensset lokalitet at man får utslag i særskilt høye konsentrasjoner. Dette gjør at det kan være vanskelig å bruke resultater fra en kildesporing til en faktisk identifikasjon og avgrensning av forurensede områder.

På bakgrunn av dette ble det fra starten lagt opp til en trinnvis gjennomføring av kildesporing og kartlegging av mulige PFAS-forurensede lokaliteter ved Stavanger lufthavn. En slik tilnærming vurderes som mest hensiktsmessig for i størst mulig grad å kunne målrette og prioritere videre kartlegging og eventuelle tiltak.

Kildesporing og videre kartlegging er gjennomført trinnvis som følger:

1. Detaljert gjennomgang av foreliggende informasjon om historikk og forurensningssituasjon, samt overvanns- og drenssystem i aktuelle områder.
2. Innledende kildesporing ved samtidig stikkprøvetaking av vann i ulike punkter i drens- og overvannssystem, bekker og grunnvannsbrønner.
3. Etablering av vannføringsmålinger i sentrale punkter for bedre dokumentasjon av mengder PFAS som spres via overvannssystemene til de ulike resipientene, samt for å kunne dokumentere effekt av ev. fremtidige gjennomførte tiltak.
4. Nærmere kartlegging av PFAS i jord og grunnvann i områder som gjennom kildesporingen identifiseres til å bidra betydelig til utlekking og avrenning av PFAS til resipientene.

Resultater fra gjennomgang av foreliggende informasjon om historikk og forurensningssituasjon (pkt. 1) og innledende kildesporing av PFAS i vann (pkt. 2) ble gjennomført i våren 2023 og er rapportert i en egen rapport [2] som tidligere er oversendt Miljødirektoratet.

Det er også etablert vannføringsmålinger i hovedutløpene for overvann fra lufthavnen (pkt. 3), men resultater fra disse målingene er i liten grad benyttet i utførte spredningsberegninger grunnet måletekniske utfordringer med enkelte av målerne.

I denne rapporten presenteres resultater fra nærmere undersøkelser i de delområder som gjennom innledende kildesporing er identifisert til å bidra mest til utlekking og avrenning av PFAS til resipientene (pkt. 4).

1.4 Resultater fra innledende kildesporing

Resultater fra innledende kildesporing utført for hele lufthavnområdet er vist i Figur 1-1. I denne figuren vises også antatte hovedkilder til utlekking og spredning av PFAS via overvannssystemene ved lufthavnen, og det er videre angitt med piler hvordan avrenningen ledes mellom de ulike prøvepunktene mot utløpene.

Overordnet viser resultatene at det påvises PFAS i overvann og grunnvann over det meste av lufthavnområdet. Påviste konsentrasjoner av Σ PFAS er for det meste <300 ng/l, med unntak av enkelte påviste høyere konsentrasjoner i område ved brannøvingfeltene (Delområde 1) og brannstasjon (Delområde 2).

Resultater fra utførte beregninger av spredningsmengder per september 2023 tilsier en samlet spredning av PFAS fra Stavanger lufthavn på om lag 2,2 kg, hvorav bidragene fra Delområde 1 og Delområde 2 samlet utgjorde største andel av den totale spredningen, hhv. 1,8 kg/år og 0,4 kg/år (Tabell 1-1).

Tabell 1-1: Beregnede spredningsmengder for Σ PFAS (g/år) for de ulike avrenningsområdene ved Stavanger lufthavn. Tabell hentet fra [2]. Merk at tabellen viser spredningsmengder før gjennomføring av tiltak ved gammelt brannøvingsfelt (BØF2).

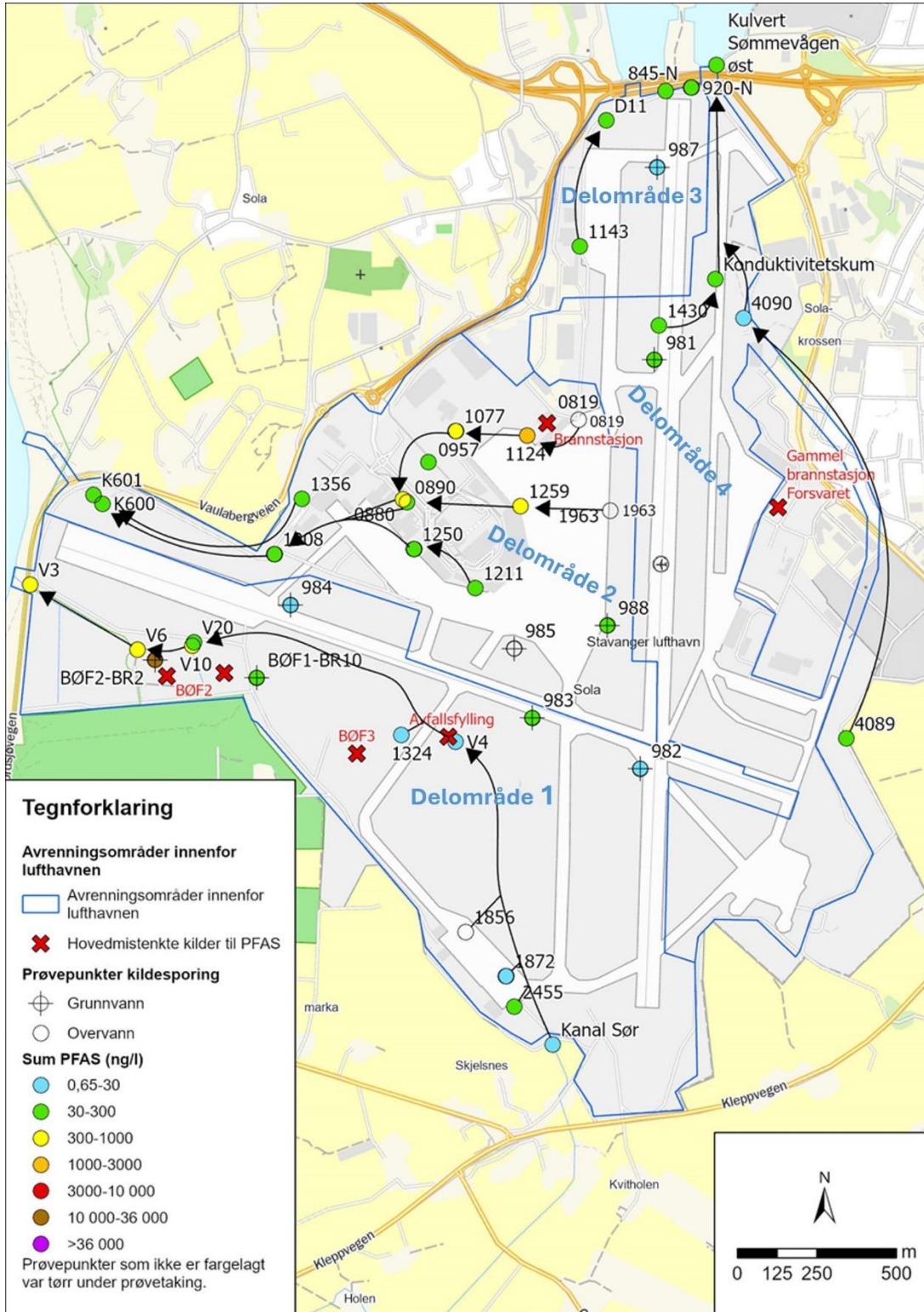
		Delområde 1	Delområde 2	Delområde 3	Delområde 4*
		V3	K601	D11/845-N/920-N	Kond.kum
Konsentrasjon**	ng/l	280	330	35	48
Avrenning	m3/år	6388383	1117767	346267	434568
Spredning	kg/år	1,8	0,4	<0,1	<0,1

* Det er for Delområde 4 kun beregnet spredning fra lufthavnens område for arealer med avrenning til Konduktivitetskum. Samlet spredning for dette delområdet via utløpspunkt Kulvert Sømmevågen øst antas å være høyere grunnet forventet noe bidrag fra arealer utenfor lufthavnen.

** For konsentrasjon er det lagt til grunn median av målte konsentrasjoner i perioden 2021-2023.

Det bemerkes det at beregningene innehar betydelig usikkerheter, og at absolutte tall for beregnede spredningsmengder (kg/år) må brukes med forsiktighet. Usikkerhet er særlig knyttet til de vannmengdene som er lagt til grunn for beregningspunktene, enten fordi topografisk nedbørfelt avviker fra det som antas å ledes til beregningspunktene gjennom kjennskap til lufthavnens overvannssystem, eller fordi detaljer i selve overvannssystemet ikke er kjent.

Det presiseres imidlertid at resultater fra gjennomførte undersøkelser, til tross for nevnte usikkerheter i beregnede spredningsmengder, gir grunnlag for å konkludere med at man har identifisert de største relative utslippene av PFAS fra lufthavnen, og at fokus for videre undersøkelser og eventuelle tiltak bør være Delområde 1 og Delområde 2.



Figur 1-1: Resultater fra innledende kildesporing av PFAS for hele lufthavnen. I figuren vises også kjente og mulige kilder til utlekking og spredning av PFAS i de enkelte delområdene. Figur hentet fra [2].

2 Utførte undersøkelser

I det følgende beskrives utførte undersøkelser for oppfølgende kildesporing i Delområde 1 og 2.

For nærmere beskrivelse av lufthavnen, kjente PFAS-forurensede lokaliteter, avrenningsforhold og resipienter, vises det til rapport fra innledende kildesporing [2].

2.1 Delområde 1: OV-system Regebekken

2.1.1 Område for tidligere brannøving (BØF3) og nedlagt avfallsfylling

Område for tidligere brannøving (BØF3) og nedlagt avfallsfylling er antatte kilder til påvist PFAS i Regebekken oppstrøms brannøvingsfeltene. Resultater fra tidligere utførte undersøkelser viser at det kan forventes PFAS-forurensning i masser ved område for tidligere brannøving (BØF3) [5], men undersøkelsene har ikke vært av et tilstrekkelig omfang for beregning av mengder PFAS og avgrensning av forurensningen i dette området.

Det er i dette delområdet gjennomført flere prøvetakingsrunder for vann (OV-system, grunnvann og resipient), og man har relativt god dokumentasjon på forventede konsentrasjonsnivåer i ulike prøvepunkter og variasjoner i disse. Det ble derfor som del av oppfølgende kildesporing i all hovedsak lagt til grunn nærmere undersøkelser for kartlegging av PFAS i jord i aktuelle områder oppstrøms brannøvingsfeltene.

Det ble i februar 2024 gjennomført miljøtekniske grunnundersøkelser i områdene oppstrøms brannøvingsfeltene fordelt på to undersøkelsesområder, som følger:

A. Område for tidligere brannøving (BØF3) og rusegrop

Kjennskap til historikk for området og resultater fra innledende undersøkelser utført i 2021 [5], viser at man har PFAS-forurensede masser i dette området. De innledende undersøkelsene var imidlertid ikke tilstrekkelige for å gi en fullstendig kartlegging av denne forurensningen, som grunnlag for mengdeberegninger og ev. tiltaksvurderinger (jf. krav i pålegg fra Miljødirektoratet). Undersøkelsene omfattet heller ikke voll for rusegrop, hvor det er kjent at det har vært benyttet PFAS-forurensede masser i oppbygningen av denne. Det ble for videre undersøkelser av dette området definert et undersøkelsesareal på 56 000 m², og gjennomført prøvetaking av jord ved sjakting i totalt 45 prøvepunkter (areal under betongplate ikke dekket).

B. Område for nedlagt avfallsfylling

Det er ikke utført undersøkelser av PFAS-forurensning i dette området tidligere. Område for nedlagt avfallsfylling er heller ikke eksakt definert, og det er opplyst fra lufthavnen at det i dette området ble deponert ulike typer avfall bakover i tid, hvor området senere har blitt planert ut til det som utgjør dagens terreng. Det ble for dette området definert et undersøkelsesareal på 70 000 m², og utført prøvetaking av jord ved sjakting i totalt 13 prøvepunkter. Dette vil da være en innledende undersøkelse, hvor prøvepunkter er forsøkt plassert i et systematisk mønster innenfor det gitte undersøkelsesområdet.

Resultater fra denne prøvetakingen er nærmere omtalt i kap. 3.1.1.

I tillegg ble det etablert 4 grunnvannsbrønner for å kunne dokumentere utlekking og spredning av PFAS fra BØF3/rusegrop og nedlagt avfallsfylling til Regebekken.

Det vises ellers til egen rapport fra utførte miljøtekniske grunnundersøkelser [6] for en mer utfyllende beskrivelse av metode og resultater.



Figur 2-1: Undersøkelsesområder for utført miljøteknisk grunnundersøkelse oppstrøms brannøvingsfeltene; A: Område for tidligere brannøving (BØF3) og rusegrop, og B: Område for nedlagt avfallsfylling.

2.1.2 Aktivt brannøvingsfelt (BØF1)

Det ble som del av arbeidet med tiltaksplan for aktivt (BØF1) og nedlagt (BØF2) brannøvingsfelt beregnet en total mengde Σ PFAS på om lag 1,6 kg innenfor undersøkt areal på det aktive brannøvingsfeltet [3]. Dette estimatet var imidlertid beheftet med en viss usikkerhet, da det ikke var utført prøvetaking av masser under betongplate sentralt på feltet. Dette er masser som kan være forurensset som følge av tidligere øvingsaktivitet, før oppgradering av infrastruktur på feltet i 2019. Masser under betongplate som ligger over grunnvannsnivå, vil imidlertid i liten grad bidra til utlekking og spredning av PFAS, da det vil være begrenset infiltrasjon av vann gjennom betongplate dersom det legges til grunn at denne er relativt tett.

Anlegget ble oppgradert i 2019 grunnet gjentatte driftsproblemer og utfordringer med å samle og håndtere avrenningsvannet. Det ble som del av oppgraderingen blant annet etablert ny oljeutskiller med fordrøyningsmagasin, med utskifting av store deler av tilhørende ledningsnett. Dagens anlegg leder avrenningsvann fra alle tette flater til fordrøying og oljeutskiller før ventilkum. Ventilkummen leder så vannet videre til utslipp i Regebekken, bortsett fra under øvelser der det benyttes PFAS-fritt skum, hvor vannet blir ført kommunalt spillvannsnett [3].

Det er gjennom utført prøvetaking i utløp fra ringdrens som omslutter feltet påvist en betydelig variasjon i konsentrasjonsnivåer for PFAS, med enkelte svært høye konsentrasjoner (opptil 18 000 ng/l). Ringdrens og tilhørende samleikum ble ikke skiftet ut under oppgradering av feltet i 2019, og det kan derfor ikke utelukkes noe utlekking av PFAS fra eldre, gjenliggende ledningsnett og sandfang i samleikum. Det ble derfor i desember 2022 gjennomført et tiltak med gjennomspyling av ringdrens og tømning av sandfang, hvor spylevann og slam ble samlet opp ved hjelp av slamsugebil [3].

Det er som del av arbeidet med kildesporingen gjennomført oppfølgende prøvetaking av ringdrens og samlelum for å se om dette tiltaket har hatt effekt på konsentrasjonsnivåer i drencvann som ledes til utslipp i Regebekken. Resultater fra denne prøvetakingen er nærmere omtalt i kap. 3.1.2.

2.1.3 Oppfølgende overvåkning etter tiltak gammelt brannøvingsfelt (BØF2)

For gammelt brannøvingsfelt (BØF2) var det særlig de høye spredningsmengdene som var utslagsgivende for at denne lokaliteten ble prioritert for tiltak. Det er gjennom tidligere utførte spredningsberegninger estimert en samlet spredning på om lag 1,3 kg PFAS/år fra aktivt (BØF1) og gammelt (BØF2) brannøvingsfelt, hvor det meste ble antatt å komme fra gammelt brannøvingsfelt (BØF2) [7]. Det er gjennom utført tiltak fjernet en mengde PFAS på ca. 9,5 kg av totalt 11,9 kg for lokaliteten som helhet [4], tilsvarende om lag 80% av kjent mengde PFAS, og det er forventet at dette over tid vil gi en betydelig reduksjon i spredningsmengde fra lokaliteten.

Det ble i sluttrapport for opprydningstiltaket ved gammelt brannøvingsfelt [4] presentert resultater fra oppfølgende overvåkning etter tiltak i form av månedlig prøvetaking i grunnvann og resipient Regebekken. Resultater fra månedlig prøvetaking etter avsluttet tiltak (desember 2024 – juli 2025) viser en tendens til avtakende konsentrasjonsnivåer for PFAS i utstrømmende grunnvann fra brannøvingsfeltet til Regebekken, men med en mindre tydelig konsentrasjonsnedgang i Regebekken.

Foreliggende tidsserie er per dags dato for kort til å kunne konkludere med faktisk effekt av tiltaket, og det ble i sluttrapporten derfor anbefalt at overvåkingen videreføres med månedlig prøvetaking ut 2025, og at man deretter utarbeider et program for oppfølgende overvåkning basert på samlede resultater fra det første året med overvåkning etter tiltak [4].

2.2 Delområde 2: OV-system Rensepark

Resultater fra innledende kildesporing viste at område ved brannstasjon (i bruk siden tidlig 1980-tall) er en mulig kilde til påvist PFAS i dette overvannssystemet, men at det også kan være andre mulige kilder som tilfører PFAS til systemet nedover mot utløpet [2].

Det forelå fra tidligere svært begrenset grunnlag fra prøvetaking av dette overvannssystemet, hvor de fleste prøvepunktene kun var prøvetatt én gang som del av den innledende kildesporingen. Dette da med unntak av utløpspunktene i renseparken som er prøvetatt flere ganger over lengre tid.

Grunnet begrenset datagrunnlag fra tidligere, ble det som del av oppfølgende kildesporing gjennomført supplerende prøvetaking av vann i de samme prøvepunkter som inkludert i innledende kildesporing, supplert med noen punkter for nærmere avklaring av hva som bidrar til påvist PFAS i område ved brannstasjon.

Metode for prøvetaking av vann i overvannssystemet i Delområde 2 er nærmere beskrevet i rapport fra innledende kildesporing [2]. Resultater fra prøvetakingen er nærmere omtalt i kap. 3.2.

3 Resultater og diskusjon

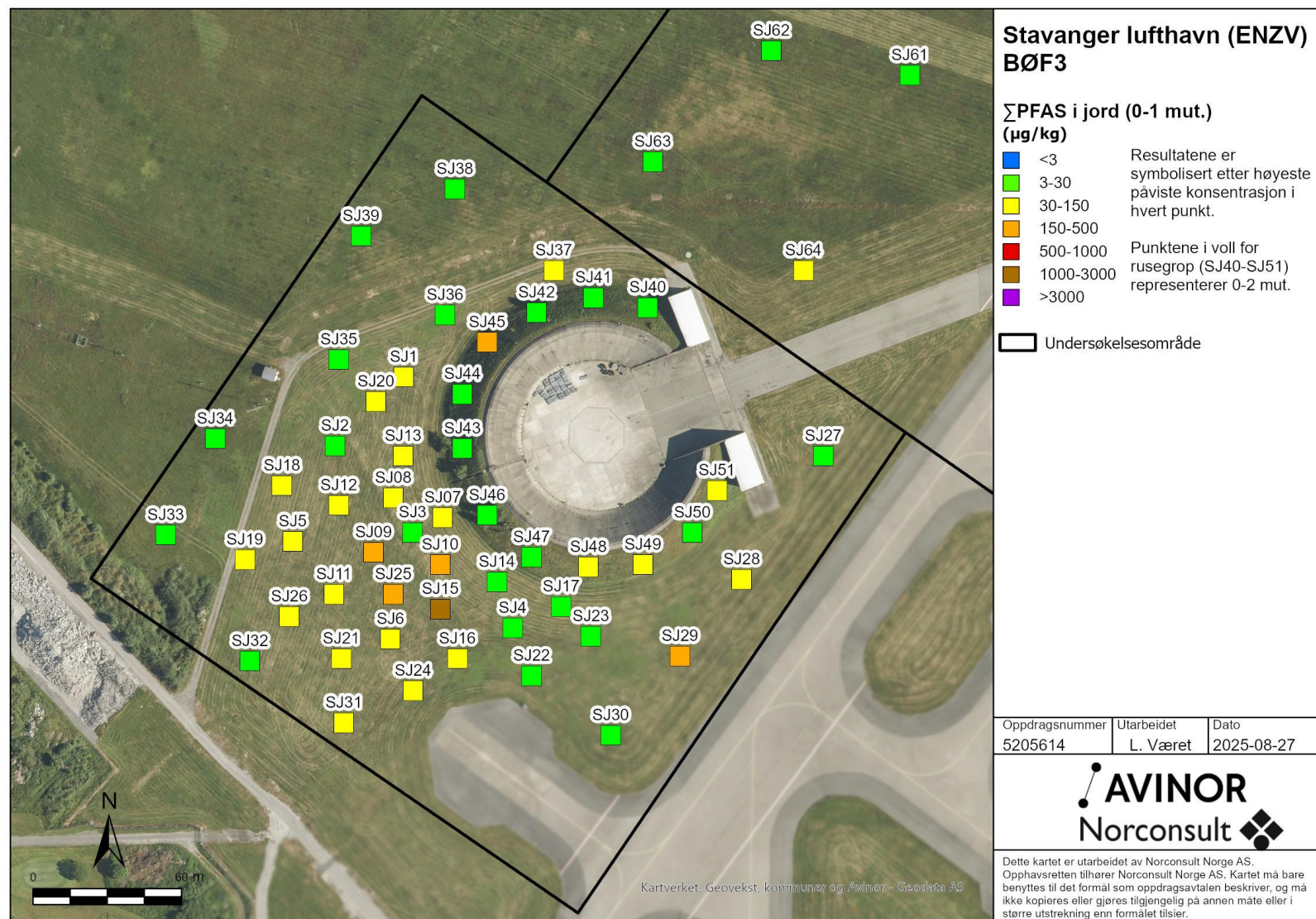
3.1 Delområde 1: OV-system Regebekken

3.1.1 Område for tidligere brannøving (BØF3) og nedlagt avfallsfylling

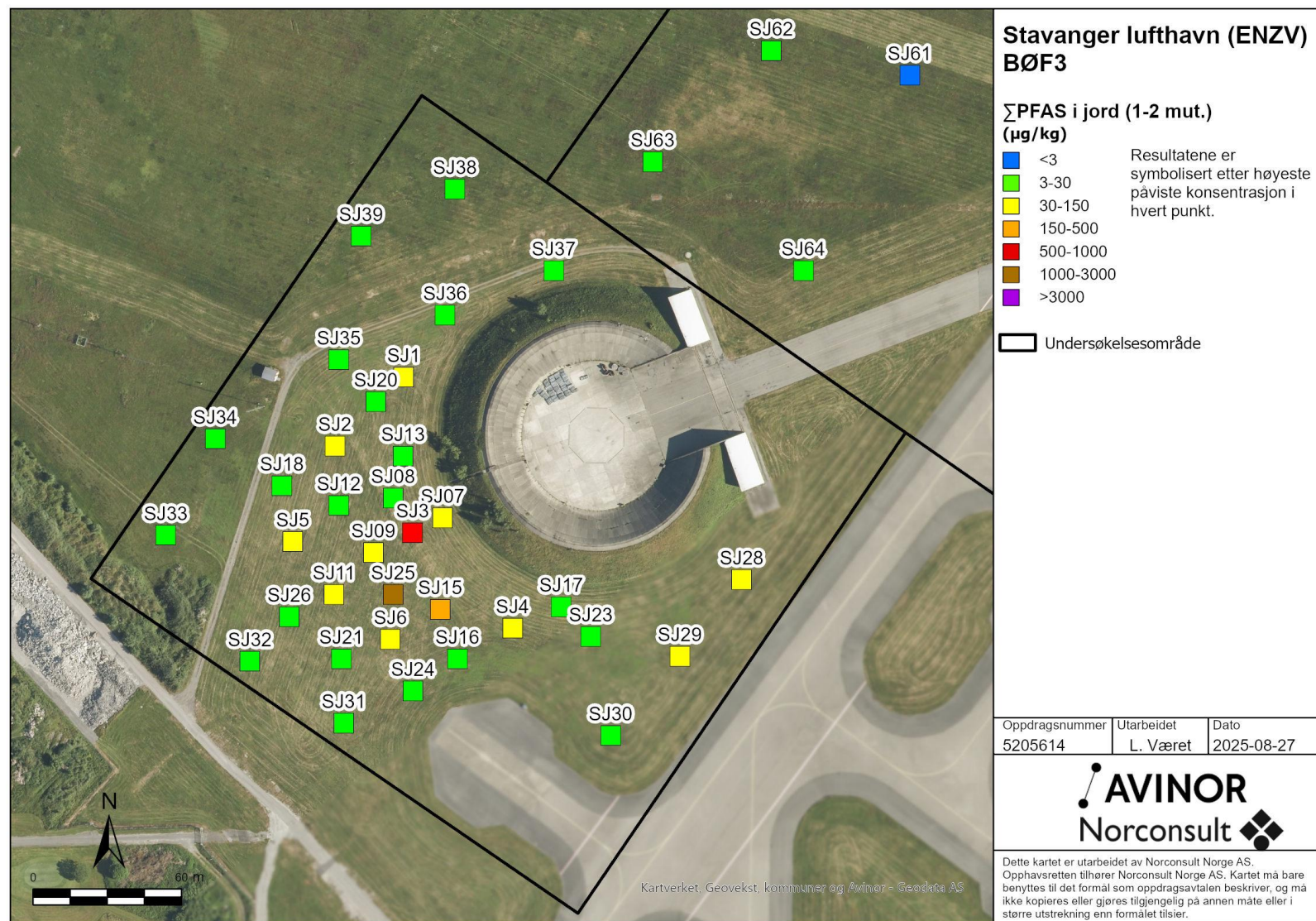
Resultater fra utført prøvetaking av jord i område for tidligere brannøving (BØF3) og nedlagt avfallsfylling (AVF) viser lave til moderate konsentrasjoner av PFAS (i hovedsak $<150 \mu\text{g} \sum\text{PFAS/kg}$) innenfor de undersøkte områdene, men med enkelte høyere konsentrasjoner, særlig på sentrale deler av BØF3 (Figur 3-1 - Figur 3-4).

Utførte mengdeberegninger for område for tidligere brannøving (BØF3) tilsier at det ligger en total mengde PFAS på om lag 6 kg innenfor dette området. Dette er da en mengde som er fordelt over et stort areal og volum masser, og det er sannsynlig at denne mengden bidrar til påvist PFAS i Regebekken oppstrøms brannøvingsfeltene. Masser under selve rusegropen har ikke vært tilgjengelig for prøvetaking. Eventuell forurensning i masser under grunnvannsnivå under rusegropen, vil også bidra til samlet spredning fra området.

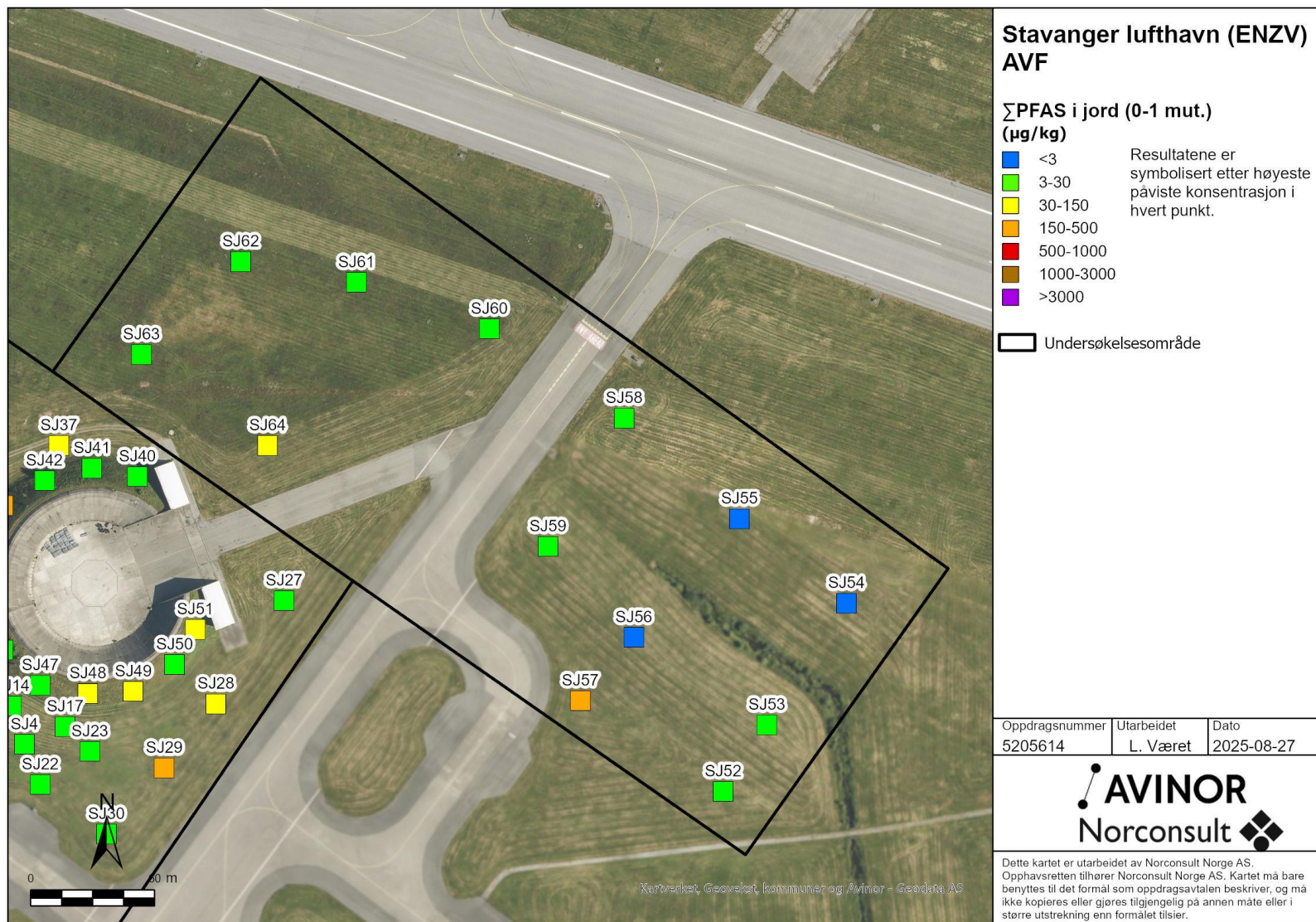
Det vises til egen rapport fra utførte miljøtekniske grunnundersøkelser for nærmere omtale av resultater og utførte mengdeberegninger [6].



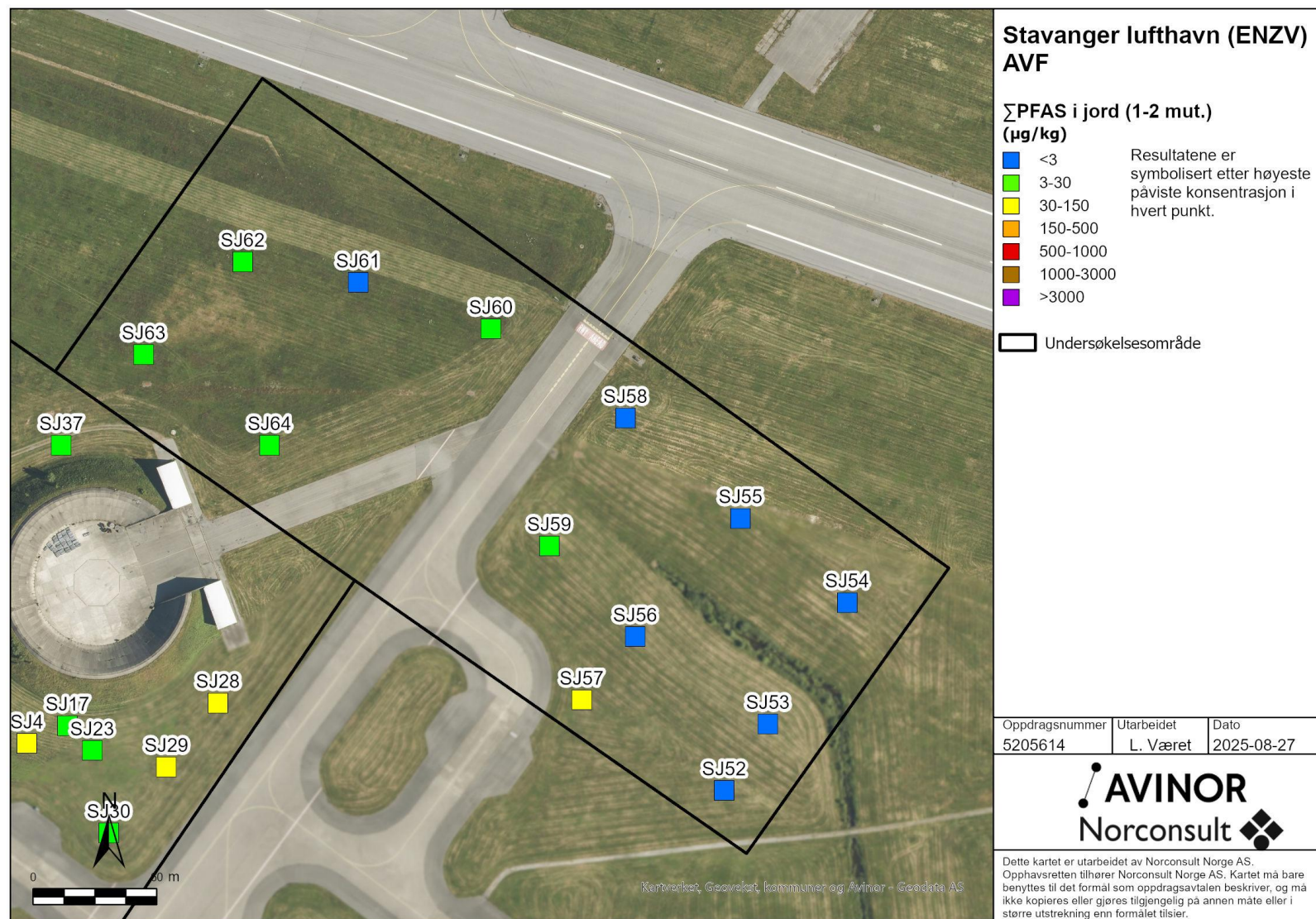
Figur 3-1: Påviste konsentrasjoner av ΣPFAS (µg/kg) innenfor område ved BØF3 og rusegrop (0 - 1 m under terreng).



Figur 3-2: Påviste konsentrasjoner av ΣPFAS (µg/kg) innenfor område ved BØF3 og rusegrop (1 - 2 m under terreng).



Figur 3-3: Påviste konsentrasjoner av ΣPFAS (µg/kg) innenfor område ved tidligere avfallsfylling (AVF) (0 - 1 m under terreng).



Figur 3-4: Påviste konsentrasjoner av ΣPFAS (µg/kg) innenfor område ved tidligere avfallsfylling (AVF) (1 - 2 m under terreng).

3.1.2 Aktivt brannøvingsfelt (BØF1)

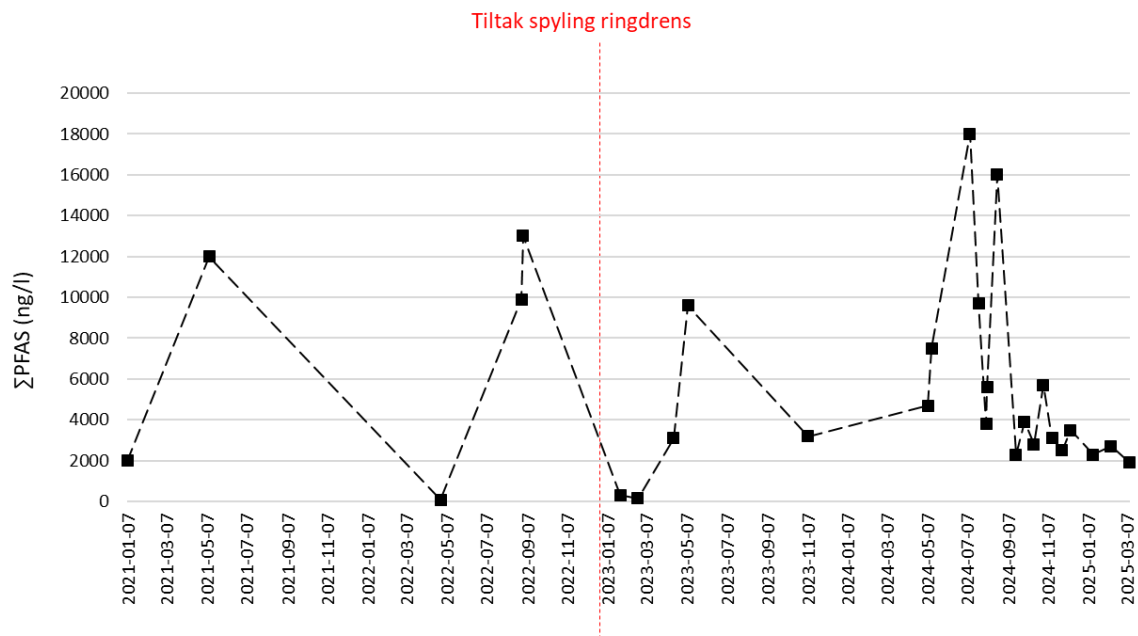
Resultater fra utført prøvetaking ved aktivt brannøvingsfelt (BØF1) viser stor variasjon i påviste konsentrasjoner av Σ PFAS i utløp av ringdrens som omslutter den sentrale delen av feltet, hvor påviste konsentrasjoner de senere årene har variert mellom 86 – 18 000 ng Σ PFAS/l (Figur 3-5). Det ble ved første prøvetakinger etter utført spyletiltak (utført i desember 2022) påvist lave konsentrasjoner, men påviste konsentrasjoner er nå på tilsvarende nivå som før spyletiltaket. Det antas at konsentrasjonsnivåer i ringdrens i stor grad varierer avhengig av nedbør og øvingsaktivitet på feltet som medfører infiltrasjon av vann gjennom gruslagt areal rundt betongplate (se prinsippskisse for utforming og vannhåndtering i Figur 3-6).

Påviste konsentrasjoner i grunnvannsbrønn BR9, som er etablert i nedstrøms retning for feltet mot Regebekken, er gjennomgående noe lavere sammenliknet med konsentrasjoner i dremsledning (1700 – 4500 ng Σ PFAS/l).

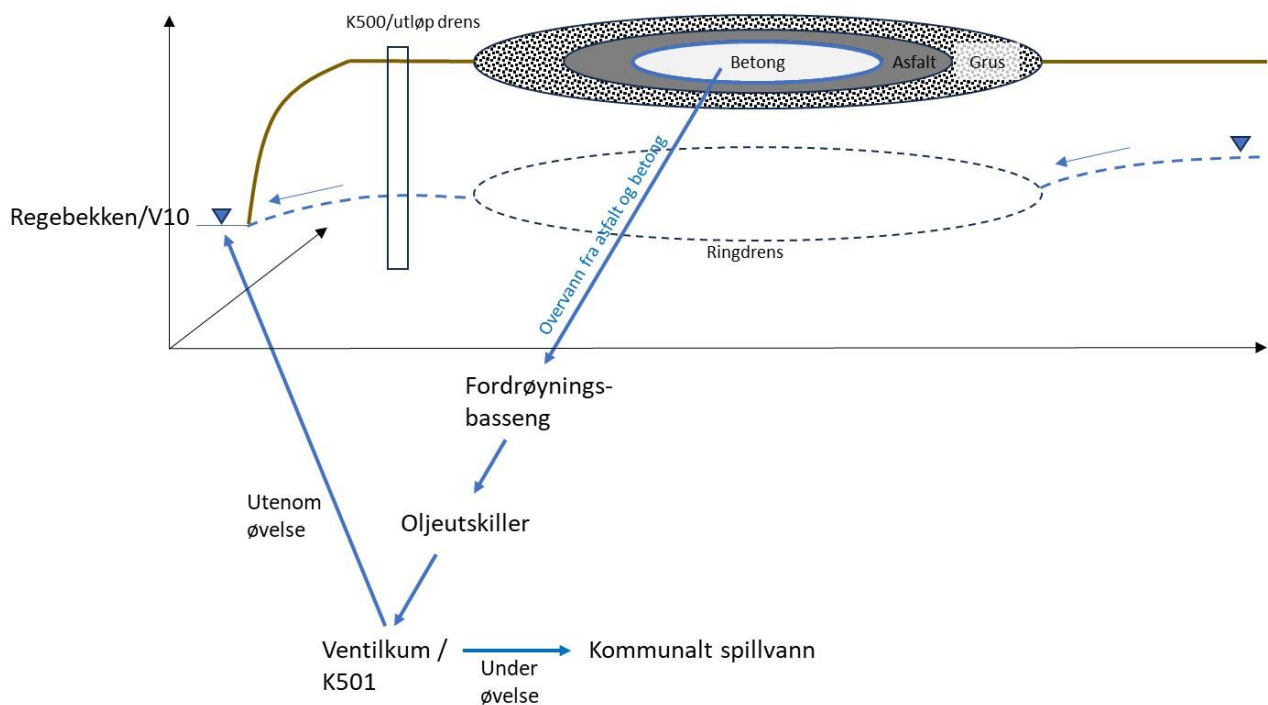
Sammensetningen av PFAS-forbindelser er relativt lik i dremsvann og grunnvann, noe som tyder på samme kilde til påvist PFAS. Enkeltforbindelsene 6:2 FTS og PFOS utgjør samlet en stor andel av Σ PFAS i prøver fra både Utløp drems og BR9.

Det er usikkert hva som forklarer de dels høye konsentrasjonene av PFAS i dremsvann fra sentrale deler av det aktive brannøvingsfeltet (BØF1). Det antas noe bidrag fra utlekking fra forurensede masser i umettet sone på sentrale deler av feltet, sammen med mulig noe bidrag fra PFAS-forurensset infrastruktur på øvingsfeltet

Selv om konsentrasjonene er relativt høye i dremsvann, representerer disse en antatt begrenset vannmengde, noe som tilsier et begrenset bidrag til den samlede spredningsmengden til Regebekken.



Figur 3-5: Konsentrasjoner av ΣPFAS (ng/l) i utløp fra drensledning (Utløp drens) på aktivt brannøvingfelt (BØF1) i perioden 2020-2025.



Figur 3-6: Prinsippskisse for utforming og løsning for vannhåndtering ved aktivt brannøvingfelt (BØF1).

3.2 Delområde 2: OV-system Rensepark

Resultater fra innledende kildesporing med stikkprøvetaking av vann i kummer i overvannssystem i Delområde 2 viste høyeste konsentrasjoner i overvann i område ved brannstasjon (1500 ng Σ PFAS/l i kum 1124), med en tendens til avtakende konsentrasjonsnivåer fra område ved brannstasjon og videre nedover i overvannssystemet mot utløpet til sjø (K601; se Figur 3-7).

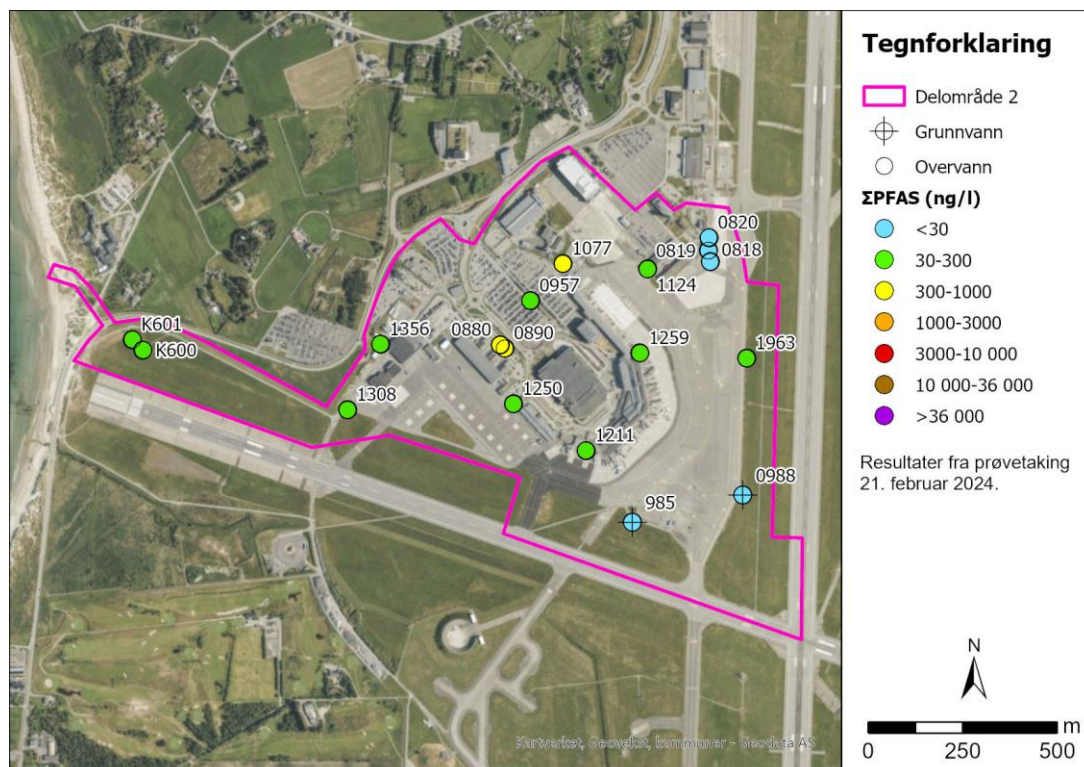
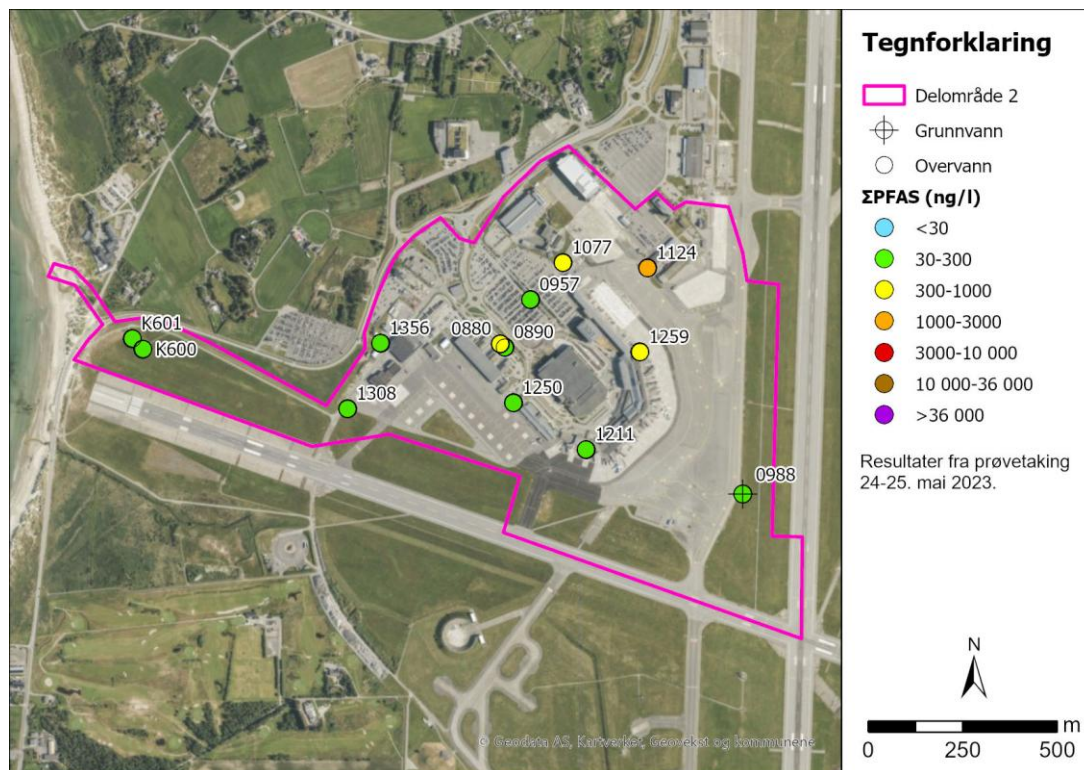
På bakgrunn av påviste konsentrasjoner i innledende kildesporing, ble det derfor i oppfølgende kildesporing supplert med tre prøvepunkter i kummer i område ved brannstasjon, som alle representerer tilførsler til kum 1124. Det ble påvist lave konsentrasjoner i alle disse kummene (<30 ng/l), og det ble også påvist en lavere konsentrasjon i kum 1124 (160 ng/l) sammenliknet med første prøvetaking. Vann fra kum 1124 ledes videre til kum 1077, hvor det ble påvist en konsentrasjon av Σ PFAS på 400 ng/l.

Overvannssystemet i Delområde 2 mottar avrenning fra store arealer med tette flater, og det er vanskelig å identifisere aktuelle kilder kun basert på påviste konsentrasjoner i de enkelte kummene. Påviste konsentrasjoner kan forventes å variere betydelig avhengig av nedbør i forkant av prøvetaking, og utforming på kum (tett/ikke tett). Selv om det ved oppfølgende prøvetaking ble påvist en lavere konsentrasjon i kum 1124, er det allikevel antatt at område ved brannstasjon er en mulig hovedkilde til samlet spredning gjennom overvannssystemet i dette delområdet. Dette med bakgrunn i nærhet til brannstasjon, hvor det er sannsynlig at det har forekommet ulik aktivitet med håndtering av brannskum bakover i tid.

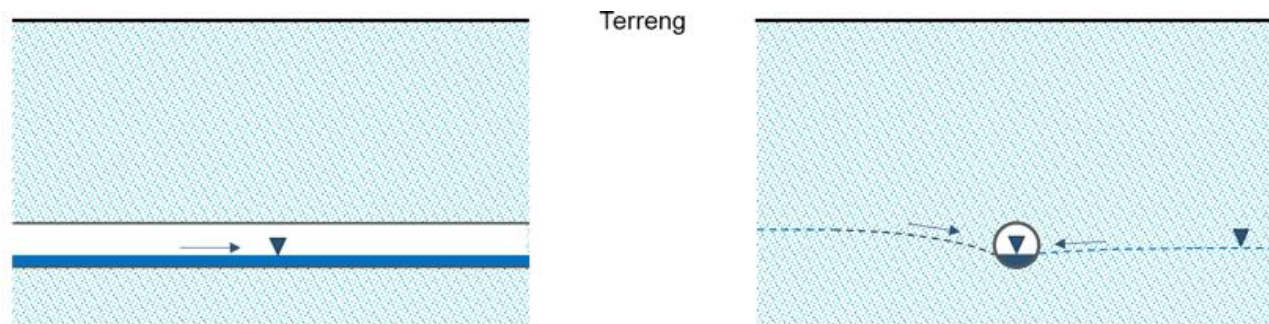
Målinger av vannføring mot nedbør viser at det er svært sannsynlig at overvannssystemet mottar vann som ikke kun kommer som direkte avrenning fra tette flater, og at grunnvann utgjør et bidrag til den totale vannføringen som vil variere med nedbør. Eventuell forurensing i grunnen som lekker ut til grunnvann vil i en slik situasjon kunne føres med overvannssystemet til renseparken.

Det fremgår også tydelig av målingene at det fortsatt går vann i systemet i perioder med lite eller ingen nedbør, noe som indikerer at overvannssystemet også mottar vann som ikke utelukkende er direkte avrenning fra tette flater. Det anses derfor svært sannsynlig at deler av overvannssystemet ikke er tett og derfor drenerer grunnvann. Grunnvannsbidraget vil kunne variere med variasjon i grunnvannstand som følge av endret gradient mot de delene av systemet som drenerer grunnvann, mens det relative bidraget til den totale vannføringen mot renseparken vil variere med nedbør og påfølgende overflateavrenning. Prinsippskisse for drenering mot overvannssystemet er vist i Figur 3-8.

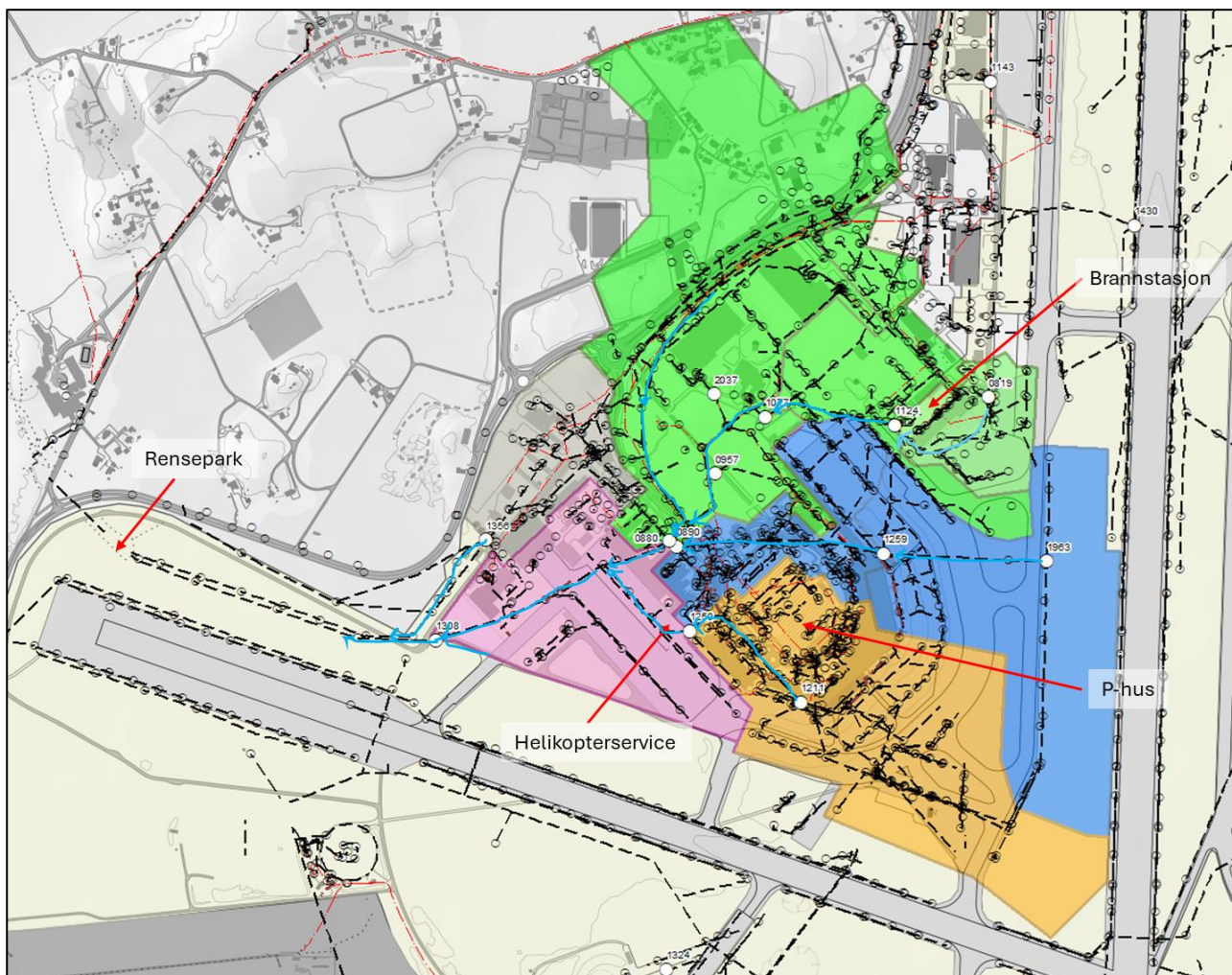
Basert på terrengmodell og forventet overflateavrenning (<https://scalgo.com/live/norway>), sammen med informasjon om overvannssystemet på lufthavnen (GIS-grunnlag mottatt fra Avinor) er det forsøkt å dele inn delområde 2 for å kunne se på forventet fordeling av avrenning til utvalgte prøvepunkter som inngår i kildesporingen for dette området, og derigjennom sammen med målt konsentrasjon få en indikasjon på om det er delfelt som bidrar mer til den totale spredningen enn andre. En slik tilnærming vil ikke kunne si noe om det relative bidraget av grunnvann til det enkelte prøvepunkt. Resultatene fra denne tilnærmingen tyder imidlertid på bidrag fra alle delarealer, men mulig noe mer fra arealer med avrenning fra området som inkluderer brannstasjonen (punkt 0880 i Figur 3-9) sammenliknet øvrige arealer, men det er ikke grunnlag for å si dette med særlig grad av sikkerhet.



Figur 3-7: Påviste konsentrasjoner av Σ PFAS (ng/l) fra utført kildesporing i Delområde 2, herunder innledende kildesporing utført i mai 2023 (øverste figur) og oppfølgende kildesporing utført i februar 2024 (nederste figur).



Figur 3-8: Prinsippskisse som illustrerer mulig innlekkasje av grunnvann til overvannsystemet der/dersom dette ikke er tett og ligger under grunnvannsnivå. Perioder med økt grunnvannsnivå vil gi økt innlekkasje som følge av brattere strømningsgradient mot lekkasjepunktet.



Figur 3-9: Delarealer med overflateavrenning til overvannsystem mot renseparken.

4 Tiltaksvurderinger

I pålegget fra Miljødirektoratet er det stilt krav om at det basert på resultatene fra kartlegging og kildesporing, skal gjøres vurderinger av «...om det kan være aktuelt å gjennomføre ytterligere tiltak utenom brannøvingsfeltene for å rydde opp i en uakseptabel forurensning eller begrense spredninger av PFAS ut fra lufthavnens område» (jfr. påleggets vilkår 10.2) [1].

Den innledende kildesporingen ga grunnlag for å vurdere spredning og beregne spredningsmengder for PFAS for hele Stavanger lufthavn under ett, men undersøkelsene ga ikke et tilstrekkelig grunnlag for å vurdere totale mengder i jord for hele lufthavnen, eller nærmere vurderinger av aktuelle tiltak for de ulike delområdene. Som del av oppfølgende kildesporing er det nå gjennomført omfattende miljøtekniske grunnundersøkelser i område for tidligere brannøving (BØF3) og nedlagt avfallsfylling (Delområde 1), og oppfølgende prøvetaking av vann i overvannssystemet i Delområde 2. Resultater fra disse undersøkelsene danner grunnlag for overordnede vurderinger av aktuelle tiltak, som nærmere omtalt i påfølgende delkapitler.

Det er i denne rapporten ikke gjort nærmere tiltaksvurderinger for det aktive (BØF1) og nedlagte (BØF2) brannøvingsfeltet. For gammelt brannøvingsfelt (BØF2) er det gjennomført tiltak med oppgraving og ekstern deponering av PFAS-forurensede masser. Dette tiltaket ble ferdigstilt i desember 2024, og sluttrapport for tiltaket er oversendt Miljødirektoratet. For det aktive brannøvingsfeltet (BØF1) er det på grunnlag av tidligere kartlegginger vurdert til å ikke være behov for tiltak [3], men resultater fra senere overvåkning tilsier at utlekking og spredning av PFAS fra denne lokaliteten kan være høyere enn tidligere antatt. Videre overvåkning og oppdaterte spredningsvurderinger vil kunne bidra til å bekrefte om så er tilfelle.

For områdene med avrenning til Hafrsfjord (Sømmevågen), er det basert på basert på beregnede spredningsmengder [2] vurdert til ikke å være behov for oppfølgende undersøkelser eller tiltaksvurderinger.

4.1 Delområde 1: OV-system Regebekken

Utførte mengdeberegninger for område for tidligere brannøving (BØF3) tilsier at det ligger en total mengde PFAS på om lag 6 kg innenfor dette området. Dette er da en mengde som er fordelt over et stort areal og volum masser, men det er sannsynlig at denne mengden forklarer en viss andel av den spredningsmengde som tidligere er beregnet for Regebekken oppstrøms brannøvingsfeltene (0,4 kg PFAS/år¹). Det antas også at mulig forurensning i masser under selve rusegropen, som ikke er kartlagt gjennom utførte undersøkelser, bidrar til samlet spredning fra dette området. Dette vil da være eventuell forurensning i masser under grunnvannsnivå, da det vil være begrenset infiltrasjon gjennom betongdekket i rusegropen.

En overordnet vurdering av egnethet for aktuelle tiltaksmetoder for område for tidligere brannøving (BØF3) og rusegrop er gitt i Tabell 4-1. Oppsummert vurderes et tiltak med oppgraving og ekstern deponering av masser, eller etablering av en reaktiv barriere, som mest aktuelle for å redusere samlet spredning av PFAS fra dette området.

¹ Spredningsmengde basert på målte konsentrasjoner av PFAS i prøvepunkt V20 i perioden 2020-2022 [9]. Resultater fra senere utført prøvetaking viser tendens til avtakende konsentrasjonsnivåer i dette prøvepunktet.

Tabell 4-1: Vurdering av egnethet for aktuelle tiltaksmetoder for område for tidligere brannøving (BØF3) og rusegrop.

Tiltaksmetode	Vurdering av egnethet
Oppgraving m/ekstern deponering	Kartlagt forurensning ligger i hovedsak i umettet sone og noe ned i mettet sone. Lave/moderate konsentrasjoner og en kartlagt forurensning som fordeler seg over et stort areal og volum masser, gir imidlertid noe begrenset tiltakseffekt og forventet dårlig kost/effekt ved oppgraving (avhengig av tiltaksgrense). <i>Vurderes som aktuell tiltaksmetode for lokaliteten.</i>
Oppgraving m/vasking av masser	Kartlagt forurensning ligger i hovedsak i umettet sone og noe ned i mettet sone. Lave/moderate konsentrasjoner og en kartlagt forurensning som fordeler seg over et stort areal og volum masser, gir imidlertid noe begrenset tiltakseffekt og forventet dårlig kost/effekt ved oppgraving (avhengig av tiltaksgrense). Massene på lokaliteten forventes å være egnet for jordvasking (basert på tidligere utførte testforsøk med masser fra BØF2), men et tiltak med vasking av masser forventes å ha en betydelig høyere kostnad sammenliknet med et deponeringsalternativ. <i>Vurderes derfor som mindre aktuell tiltaksmetode for lokaliteten.</i>
Tildekking	Tildekking av masser vurderes i utgangspunktet som et mindre egnet tiltak, da grunnvannet generelt står høyt på området, og en større andel av kartlagt forurensning ligger i overgangen mot mettet sone og dels ned i mettet sone. Et tildekkingstiltak forventes da å ha begrenset effekt på samlet spredning. Et slikt tiltak krever tett oppfølging i lang tid etter gjennomført tiltak og kan også gi begrensninger på etterbruk av området. Vurderes som lite aktuelt som primærtiltak, men kan eventuelt vurderes i kombinasjon med andre tiltaksløsninger ved fremtidig utbygging av området. <i>Vurderes som mindre aktuell tiltaksmetode for lokaliteten.</i>
Innkapsling	Innkapsling av masser vurderes i utgangspunktet som et mindre egnet tiltak, da grunnvannet generelt står høyt på området, og en større andel av kartlagt forurensning ligger i overgangen mot mettet sone og dels ned i mettet sone. Tiltaket vil også innebære at man vil måtte etablere bunn- og sidebarrierer ned i mettet sone, noe som vil være praktisk utfordrende og gi en økt usikkerhet knyttet til levetid. Et slikt tiltak krever tett oppfølging i lang tid etter gjennomført tiltak og kan også gi begrensninger på etterbruk av området. <i>Vurderes som ikke aktuell tiltaksmetode for lokaliteten.</i>
Rensing av grunnvann ("pump and treat")	Vurderes som lite aktuelt grunnet betydelige vannmengder som må renses over lengre tid. Dette vil medføre høye kostnader, samtidig som mengden PFAS som tas ut per tid vil være begrenset, noe som gir en forventet dårlig kost/effekt for tiltaket. <i>Vurderes som lite aktuell tiltaksmetode for lokaliteten.</i>
Reaktiv barriere («spredningsstabilisering»)	Etablering av reaktiv barriere i utstrømningsområde for PFAS-forurensset grunnvann for å redusere spredning av PFAS via grunnvann til Regebekken. En reaktiv barriere etableres nedstrøms forurensset område ved injeksjon av flytende sorbent i kolloidal form ned i mettet sone. En fordel med en slik tiltaksløsning er at den også vil kunne fange spredning fra eventuell ikke-kartlagt forurensning på området. Dette er en tiltaksløsning som er godt dokumentert med tanke på kortidseffekt, men hvor det fortsatt er betydelige usikkerheter knyttet

Tiltaksmetode	Vurdering av egnethet
	til effekter over tid. Kan komme i konflikt med mulig fremtidig utbygging i dette området. <i>Vurderes som mulig aktuell tiltaksmetode for lokaliteten.</i>
Stabilisering («kildestabilisering»)	Massene ved lokaliteten består av relativt homogen sand og er i utgangspunktet godt egnet for innblanding av sorbent. Stabilisering av forurensning i kildeområde «hotspot» kan gjøres ved oppgraving av masser for innblanding av sorbent, eller ved direkte injeksjon av flytende sorbent. Dette er en tiltaksløsning som er godt dokumentert med tanke på kortidseffekt, men hvor det fortsatt er betydelige usikkerheter knyttet til effekter over tid. <i>Vurderes som ikke aktuell tiltaksmetode for lokaliteten, da kartlagt forurensning ikke foreligger som en konsentrert «hotspot».</i>
Termisk behandling	Termisk behandling (her <i>termisk desorpsjon</i>) av PFAS-forurensede masser er en tiltaksmetode som er under utvikling, men som per i dag i begrenset grad er utprøvd og dokumentert i fullskala. Det er fortsatt betydelige usikkerheter knyttet til metoden med tanke på blant annet mulig dannelse av mellomprodukter, utslipp i gassfase og kostnader. <i>Vurderes som ikke aktuell tiltaksmetode for lokaliteten.</i>

4.2 Delområde 2: OV-system Rensepark

Samlet spredning gjennom dette overvannssystemet er estimert til om lag 0,4 kg PFAS/år, beregnet basert på målte konsentrasjoner i renseparken og avrenningstall for hele delområdet under ett. Resultater fra innledende og oppfølgende kildesporing har imidlertid så langt ikke gitt grunnlag for å tilstrekkelig avgrense hovedkilder til utlekking og spredning av PFAS gjennom overvannssystemet i dette delområdet. Dette gjør at et tiltak for å redusere samlet spredning i stor grad vil måtte rettes mot utløpet, dersom tiltaket skal kunne redusere en størst mulig andel av den totale spredningen.

Overvannssystemet i dette delområdet mottar vann fra arealer med en stor andel tette flater, noe som medfører at man i dette systemet har en rask respons på nedbør, og at det går betydelige vannmengder i systemet særlig i tilknytning til nedbørsperioder. Vannmengdene er vesentlig lavere utenom nedbørsperioder, med et antatt større bidrag av grunnvann inn i systemet (som omtalt i kap. 3.2).

Et tiltak med rensing av vann i renseparken vil i så måte måtte være dimensjonert med en betydelig kapasitet, dersom det skal kunne håndtere en større andel av samlede vannmengder (og samlet spredningsmengde) ut gjennom overvannssystemet (jf. avrenningstall i Tabell 1-1). En slik renseløsning vil da forventes å ha en svært høy investeringskostnad. I tillegg vil det her forventes betydelige driftsmessige utfordringer og driftskostnader for en vannrenseløsning, knyttet til avrenning av avisingskjemikalier i overvannssystemet.

Basert på ovenstående, vil et tiltak med rensing av vann i renseparken ha en forventet svært høy totalkostnad (investering og drift). Samtidig vil effekten av tiltaket være begrenset oppad til faktisk spredningsmengde, noe som vil gi en forventet svært høy kostnad per kg PFAS fjernet gjennom tiltaket. Et tiltak med rensing av vann i renseparken vurderes derfor som lite aktuelt dersom man baserer seg på konvensjonell prosesseteknologi med bruk av filterbasert medium. Et tiltak med rensing av vann vil imidlertid kunne vurderes nærmere dersom man gjennom videre undersøkelser klarer å identifisere mindre delarealer/delstrømmer i overvannssystemet som bidrar til en høy andel av den samlede spredningen.

5 Kostnadsberegninger

Det er beregnet kostnader og kost/effekt for tiltaksmetoder som er vurdert som aktuelle for område for tidligere brannøving (BØF3) og rusegrop (jfr. vurderinger i kap. 4). Hensikten med å beregne kostnader for tiltak er å kunne vurdere totale kostnader og kost/effekt (kostnad per kg PFAS fjernet) for opprydding på lokaliteten. Kostnadsberegningene er utført på et overordnet nivå, det er ikke utført detaljutredninger ulike tiltaksalternativene, og estimerte kostnader gir kun et grovt kostnadsbilde.

Det er for område for tidligere brannøving (BØF3) og rusegrop i Delområde 1 beregnet kostnader for to alternative tiltak:

- Oppgraving med ekstern deponering
- Reaktiv barriere (ved injeksjon av flytende sorbent)

Det er ikke beregnet kostnader for tiltak i Delområde 2, da det per nå ikke er grunnlag for å foreslå konkrete tiltak for å redusere spredningen av PFAS fra dette delområdet. Kildesporingen har så langt ikke gitt grunnlag for å avgrense hovedkilder til utlekking og spredning av PFAS gjennom overvannssystemet, og et tiltak med rensing av vann ved utløpet er vurdert som lite aktuelt (jfr. vurderinger i kap. 4.2).

For å estimere mest mulig representative kostnader for tiltak er det innhentet priser fra entreprenører, deponier og leverandører av ulike tiltaksløsninger, samt erfaringstall fra Avinor fra tidligere gjennomførte oppryddingstiltak. Avinor har den senere tid gjennomført oppryddingstiltak med oppgraving og ekstern deponering ved flere lokaliteter, slik at erfaringstallene som da er lagt til grunn antas å være nokså representative for markeds- og konkurransesituasjonen slik den er i dag. For andre tiltaksmetoder er kostnadstallene mer usikre.

Basert på opplysninger fra ulike aktører er det satt priser som antas å være realistiske, og som kan brukes i en overordnet vurdering av kostnader. En slik innhenting av priser, hvor man ikke er i reell anskaffelse og konkurransesituasjon, vil imidlertid medføre at kostnadene som legges til grunn innehar en betydelig usikkerhet. Prisene vil også speile markedet slik det er i dag, med mulighet for at disse kan endre seg fram mot en fremtidig gjennomføring av tiltak.

For kostnadsberegningene er prinsippene for kostnadsoverslag etter Anslagsmetoden til Statens vegvesen lagt til grunn [8]. Kostnadsestimater for ulike alternative tiltak og tiltaksomfang er presentert som basiskostnad (grunnkalkyle + uspesifisert), og det er denne som er lagt til grunn ved beregning av kost/effekt for de ulike tiltakene som presentert i kap. 5.2.2.

Kostnadsoverslaget (basiskalkyle) er bygget opp etter en kalkylestruktur med følgende hovedposter:

- Masseutskifting eller annet tiltak
- Tekniske installasjoner
- Byggherrekostnader
- Uspesifisert

Uspesifiserte kostnader er inkludert i beregningene (basiskalkyle), da dette omfatter kostnader som er forventet, men som ikke er tilstrekkelig kartlagt eller utredet på grunn av et det ikke er utført detaljutredninger. Denne kostnaden er angitt som et prosentanslag på 10 % for tiltak med oppgraving og ekstern deponering, og 20 % for øvrige tiltaksmetoder. Merverdiavgift (mva) er ikke inkludert i basiskalkylen.

5.1 Oppgraving med ekstern deponering

5.1.1 Forutsetninger

For å kunne estimere kostnader for gjennomføring av tiltak ved område for tidligere brannøving (BØF3) og rusegrop må det legges til grunn en del stedsspesifikke forutsetninger for kostnadsberegningen.

Forutsetninger som er lagt til grunn i kostnadsberegningene vil kunne endre seg i større eller mindre grad basert på nærmere utredning av hvordan en eventuell gjennomføring av et tiltak vil foregå.

Generelt forventes det ikke at tiltaksgjennomføring ved BØF3 vil påvirkes av hensynet til flysikkerhet og drift ved lufthavnen.

Det er for tiltaksalternativet oppgraving med ekstern deponering utført kostnadsberegninger for opprydding til tre ulike konsentrasjonsgrenser i gjenværende masser. De tre konsentrasjonsgrensene som er vurdert er konsentrasjoner av Σ PFAS i gjennliggende masser tilsvarende $<30 \mu\text{g/kg}$, $<150 \mu\text{g/kg}$ og $<500 \mu\text{g/kg}$. I beregningene er det da lagt til grunn arealer, volumer og mengder PFAS som gitt i rapport fra utførte miljøtekniske grunnundersøkelser og utførte mengdeberegninger [6]. Volumene og mengdene som er lagt til grunn omfatter kun det som er beregnet for BØF3 (0-2 m under terreng), og ikke voll for rusegrop eller masser under betongdekke i selve rusegropen. Dette som følge av at påviste konsentrasjoner i voll for rusegrop i all hovedsak er $<30 \mu\text{g/kg}$, mens masser i selve rusegropen ikke er kartlagt gjennom utførte undersøkelser.

Det er videre lagt til grunn følgende forutsetninger i kostnadsberegningene for et tiltak med oppgraving og ekstern deponering ved område for tidligere brannøving (BØF3):

- Ingen sortering av masser ettersom det er homogen sand.
- Det legges til grunn at grunnvannsnivået senkes med sugespissanlegg i forkant av oppgraving av masser som ligger under grunnvannsnivå, slik at forurensede masser kan graves ut i tørr gravegrop.
- Ved behov for mellomlagring av forurensede masser over akseptgrensen for tiltaksområdet er det lagt til grunn at disse mellomlagres nært utgravingsområdet, på tett dekke med oppsamling av vann, eller på områder med tilsvarende forurensningsgrad inne på tiltaksområdet.
- Det er estimert kostnader for at vann fra gravegrop, samt avrenning fra mellomlager, renses med et mobilt (kontainerbasert) renseanlegg, med utslipp av rensset vann til Regebekken.
- Forurensede masser lastes opp på biler for transport til godkjent deponi. Det legges i beregningene til grunn at forurensede masser enten transporteres med lastebil direkte til deponi, eller transporteres til havn og lastes over på båt for videre transport sjøvegen med levering til mottak direkte fra båt.
- Ved oppgraving med ekstern deponering er det lagt til grunn at tiltaksområdet tilbakefylles til tilsvarende terrengnivå som i dag. Gravegrop fylles igjen med egnede rene masser, og hele området planeres og komprimeres.
- Det forutsettes at rene masser for tilbakefylling i byggegrop er tilgjengelig lokalt og/eller at slike masser kan mellomlagres på/nær lokaliteten frem til anvendelse.

5.1.2 Kostnader

Beregnete basiskostnader for tiltaksalternativet oppgraving med ekstern deponering er vist i Tabell 5-1. I tabellen vises også kostnad per mengde PFAS fjernet (kr/kg PFAS) ved ulike konsentrasjonsgrenser (30, 150 og $500 \mu\text{g/kg}$). Effekt av tiltaket er i tabellen angitt som antall kg PFAS fjernet, og som mengde PFAS fjernet i % av total beregnet mengde i jord på lokaliteten.

Beregnet basiskostnad for tiltak med konsentrasjonsgrense 500 og 150 µg/kg er henholdsvis 13,7 MNOK og 22,9 MNOK, med en estimert kost/effekt på henholdsvis 12,9 MNOK/kg PFAS og 11,0 MNOK/kg PFAS. Begge disse konsentrasjonsgrensene gir imidlertid en begrenset samlet effekt av tiltaket i form av mengde PFAS fjernet, henholdsvis 17% og 34% av total beregnet mengde (Tabell 5-1).

Oppgraving og ekstern deponering av masser med konsentrasjoner >30 µg/kg har en beregnet basiskostnad på 75 MNOK, og en estimert kost/effekt på 20 MNOK/kg PFAS fjernet. Et tiltak med denne konsentrasjonsgrense vil innebære at man fjerner totalt 3,7 kg PFAS fra lokaliteten, tilsvarende om lag 61% av total beregnet mengde.

Tabell 5-1: Beregnet basiskostnad, effekt og kost/effekt for tiltaksalternativet oppgraving med ekstern deponering for område for tidligere brannøving (BØF3).

Oppgraving med ekstern deponering						
Konsentrasjonsgrense ΣPFAS	Basiskostnad (NOK)	Volum masser interpolert (m ³)	Volum masser tiltaksomfang* (m ³)	Effekt (kg PFAS)**	Effekt (% PFAS fjernet av total mengde i jord)***	Kost/effekt (kr/kg PFAS)
30 µg/kg	kr 75 000 000	19 500	24 400	3,7	61	kr 20 000 000
150 µg/kg	kr 22 900 000	3000	3700	2,1	34	kr 11 000 000
500 µg/kg	kr 13 600 000	750	900	1,1	17	kr 12 900 000

* Det er en forventning om at volumet masser som omfattes av tiltak vil være større enn volumet masser som er beregnet fra interpolerte arealer ved hver konsentrasjonsgrense. Dette som følge av faktisk avgrensning av forurensningen horisontalt og vertikalt, samt hensynet til praktisk utførelse. For kostnadsberegningene er det derfor tillagt 25 % på det interpolerte volumet masser for hver konsentrasjonsgrense.

** Det er for effekt (kg PFAS) av tiltak med oppgraving med ekstern deponering ved ulike tiltaksomfang tatt høyde for tilleggseffekt i det 25% volumet som er tillagt interpolert volum masser.

*** Total estimert mengde PFAS i jord ved BØF3 og rusegrop er 6,1 kg (> 3 µg/kg) [6].

5.2 Reaktiv barriere

5.2.1 Forutsetninger

Det er for tiltaksalternativet med reaktiv barriere utført kostnadsberegninger for en 200 meter lang barriere i mettet sone nedstrøms område for tidligere brannøving (BØF3) og rusegrop. Det er lagt til grunn at barrieren etableres ved direkte injeksjon av flytende sorbent ned i kapillærsone og mettet sone (se prinsippskisse i Figur 5-1), med anslått mektighet for behandlet sone på 4 m. Det er i kostnadsberegningen lagt til grunn indikativ pris fra leverandør av en slik barriereløsning for en annen sammenliknbar PFAS-forurensset lokalitet.

Det er i kostnadsestimatet inkludert følgende hovedelementer:

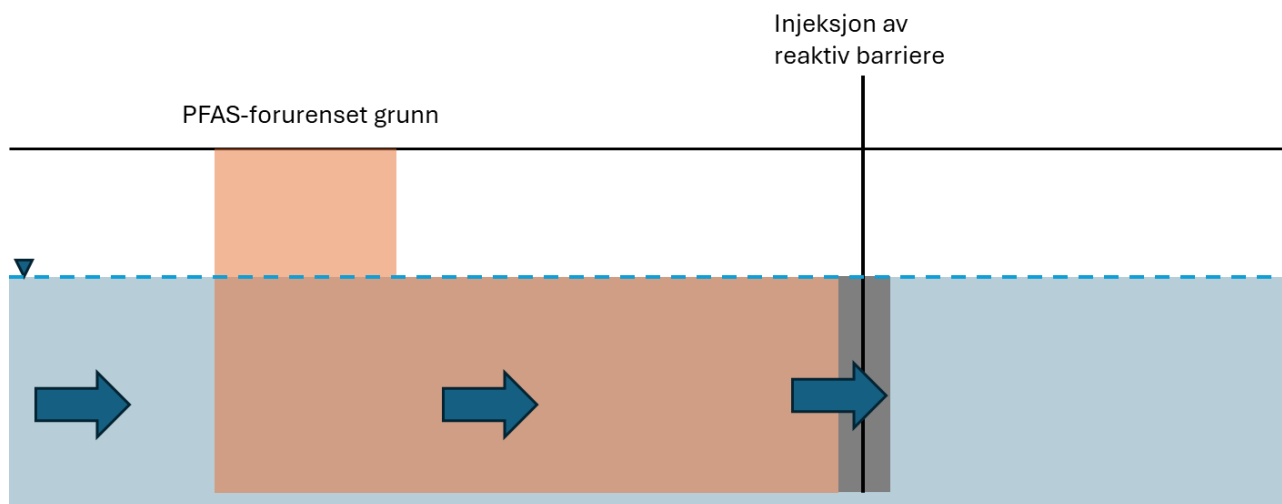
- Prosjektering og nødvendige forundersøkelser
- Pilotforsøk
- Fullskala barriere

Det legges til grunn at leverandør disponerer frostfri lagerplass for sitt produkt inne på lufthavnen, samt at Avinor stiller med nødvendig vann (utblanding av produkt) under injeksjonsarbeidene. Slike kostnader er derfor ikke inkludert.

Øvrige forutsetninger lagt til grunn for kostnadsestimat på skissenivå:

- Uspesifiserte kostnader 20%, rigg og drift 15%
- Antatt ingen behov for reinjeksjon av sorbent
- Ingen behov for senere oppgraving og ekstern deponering av masser i barrieren

Forutsetninger som er lagt til grunn i kostnadsberegningene vil kunne endre seg i større eller mindre grad basert på nærmere utredning av hvordan en eventuell gjennomføring av et tiltak vil foregå. Generelt forventes det ikke at tiltaksgjennomføring med reaktiv barriere ved BØF3 vil påvirkes av hensynet til flysikkerhet og drift ved lufthavnen.



Figur 5-1: Prinsippskisse for reaktiv barriere. Barrieren etableres ved injeksjon av flytende sorbent ned i kapillærsone og mettet sone.

5.2.2 *Kostnader*

Beregnet basiskostnad for en reaktiv barriere er estimert til om lag 31 MNOK. Gitt stor usikkerhet i årlig spredningsmengde, og dermed usikkerhet knyttet til nødvendig varighet av tiltaket, er det ikke beregnet effekt (kg PFAS fjernet) for et slikt tiltak. Det er imidlertid grunn til å forvente at en slik tiltaksløsning vil bidra til en betydelig reduksjon i spredningsmengde for PFAS fra område ved BØF3 og rusegrop (>90% reduksjon i konsentrasjonsnivåer). Dette vil da gjelde for spredning både fra både kartlagt og ev. ikke-kartlagt forurensning i dette området.

Det bemerkes at det er usikkerheter knyttet til aktuelle løsninger for reaktiv barriere med tanke på langtidseffekter, behov for reinjeksjon og om bundet PFAS vil kunne lekket ut igjen over tid. Et tiltak med reaktiv barriere vil kreve oppfølging i form av overvåkning i lang tid etter gjennomført tiltak.

6 Videre oppfølging

Basert på en samlet vurdering av resultater fra utført kildesporing og påfølgende tiltaksvurderinger foreslås videre oppfølging i Delområde 1 og 2 som nærmere beskrevet under.

Det vil utarbeides et program for videre oppfølging av kildesporingsarbeidet på Stavanger lufthavn.

6.1 Delområde 1: OV-system Regebekken

Det samlede spredningsbildet til Regebekken er fortsatt uklart. Det er tidligere beregnet en betydelig spredningsmengde for PFAS i Regebekken, hvor det ble lagt til grunn at bidraget fra det gamle brannøvingsfeltet (BØF2) utgjorde største andel av den totale spredningsmengden. Det er nå gjennomført tiltak på BØF2, hvor man har fjernet en betydelig andel av kjent forurensning på feltet, men konsentrasjonene i Regebekken er fortsatt på nivå med konsentrasjonsnivåer før tiltak.

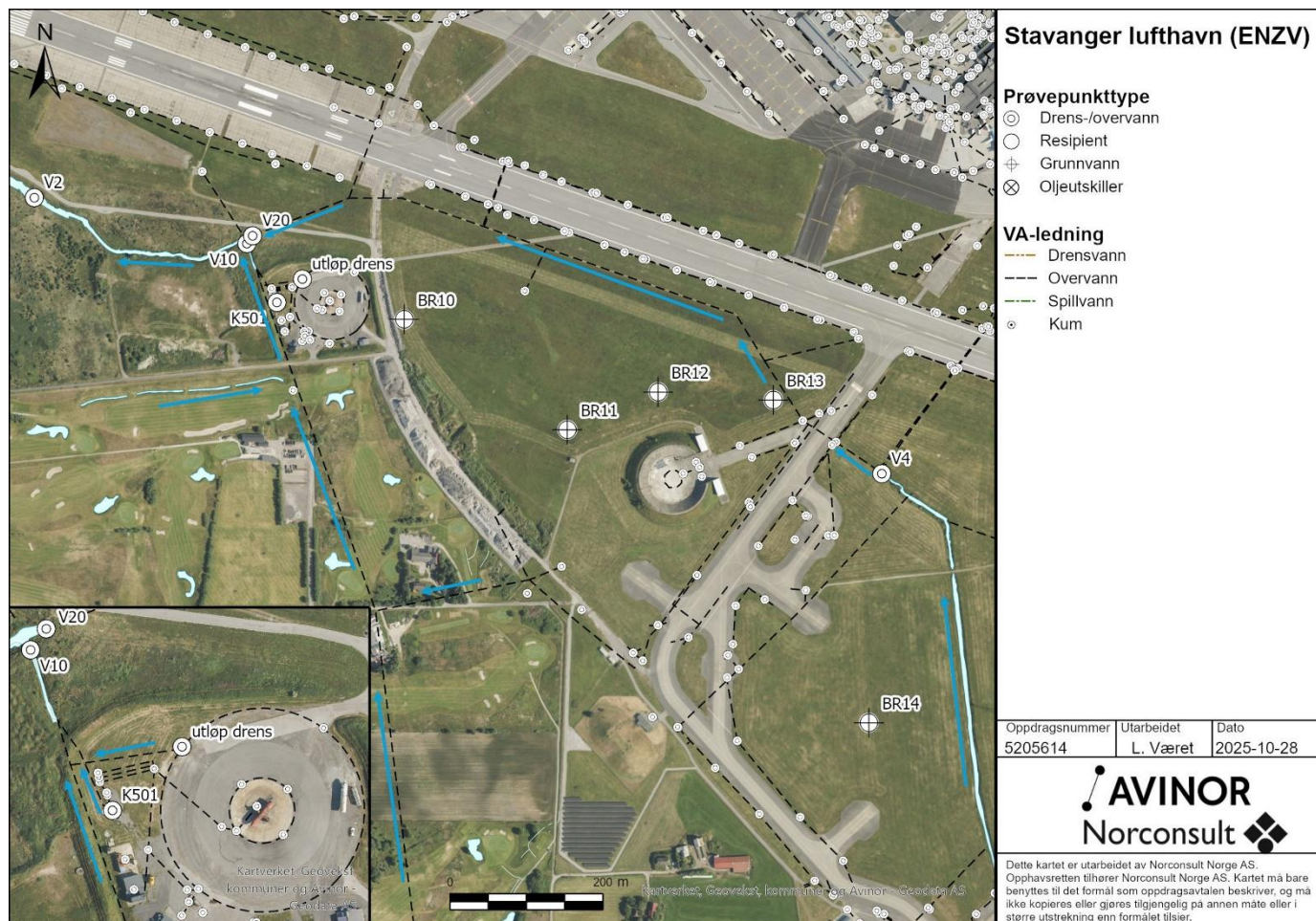
Det er dokumentert en nedgang i konsentrasjonsnivåer i grunnvann som strømmer fra BØF2 til Regebekken, og det er derfor grunn for å anta at man noe fram i tid vil se reduserte konsentrasjonsnivåer også i Regebekken. Per nå er det imidlertid en for kort tidsperiode etter gjennomført tiltak til at faktisk effekt av tiltaket kan dokumenteres. Basert på gjennomgang av foreliggende datagrunnlag og kjennskap til spredningsmønster, er det allikevel grunn for å anta at bidraget fra andre kilder, inkludert det aktive brannøvingsfeltet (BØF1), mulig har vært noe underestimert.

Det gjennomføres i dag månedlig prøvetaking for å dokumentere konsentrasjonsnivåer i grunnvann og Regebekken etter gjennomført tiltak på gammelt brannøvingsfelt (BØF2). Denne overvåkingen er nærmere beskrevet i sluttrapport for opprydningstiltaket [4]. For en nærmere kartlegging av mulige bidragsyttere til påvist PFAS i Regebekken, vil denne overvåkingen framover utvides til å omfatte flere prøvepunkt både på det aktive brannøvingsfeltet (BØF1) og for kartlegging av mulige bidrag fra oppstrøms kilder (se Figur 6-1).

Regebekken ligger i rør mellom punkt V4 og V20 (se Figur 6-1) oppstrøms BØF1 og BØF2, hvor det er påvist økning i konsentrasjon av Σ PFAS mellom V4 (ca. 10 ng/l) og V20 (ca. 60 ng/l). Tilgjengelig grunnlag tilsier at rørføringen er Ø2000 betongrør, som i utgangspunktet forventes å ha en tett utførelse. Påvist forurensning i jord og grunnvann ved BØF3 er pekt på som mulig kilde til økningen i konsentrasjon mellom V4 og V20. Dersom det legges til grunn at spredning av PFAS via grunnvann fra dette området bidrar til påvist konsentrasjon i V20, indikerer dette at utførelse for rørføringen likevel ikke er tett. Det er ikke kjennskap til andre mulige bidragsyttere til påvist PFAS på denne strekningen.

Beregnet spredningsmengde for Regebekken er høyst usikker, hvor usikkerheten i all hovedsak ligger i de tall for vannmengder som er benyttet i beregningene. Det er grunn til å anta at spredningsmengden er noe overestimert, i alle fall dersom man sammenlikner beregnet mengde basert på avrenningstall og konsentrasjoner i Regebekken, opp mot beregninger av spredningsmengder fra de enkelte lokaliteter basert på målte konsentrasjoner i grunnvann og teoretisk volum utstrømmende grunnvann per tid.

Det vil være viktig å fremskaffe et sikrere grunnlag for å estimere faktiske spredningsmengder, da spredningsmengde vil være styrende for vurderinger av fremtidige tiltaksbehov. Det er tidligere gjort forsøk på etablering av vannføringsmålinger i Regebekken, men det var her vanskelig å finne egnet plassering i bekken, sammen med ulike måletekniske utfordringer. Det anbefales allikevel at man her engasjerer en ekstern leverandør for å på nytt forsøke å etablere slike målinger.



Figur 6-1: Plassering av eksisterende overvåkningspunkter tilknyttet brannøvingsfeltene og Regebekken. I figuren vises også tilknyttet VA-infrastruktur og kummer som kan være aktuelle for utvidet overvåkning og kildesporing.

6.2 Delområde 2: OV-system Rensepark

Det vil for Delområde 2 gjøres en nærmere vurdering av om det finnes ny, alternativ prosess teknologi som kan være aktuelt for et vannrensetiltak i dette overvannssystemet.

Tilsvarende som for Regebekken, så vil det også for overvannssystemet i Delområde 2 være viktig å fremskaffe et sikrere grunnlag for å estimere faktiske spredningsmengder, da spredningsmengde vil være styrende for vurderinger av fremtidige tiltaksbehov og aktuelle tiltaksløsninger. Det er tidligere gjort forsøk på å etablere vannføringsmålinger i utløpet av overvannssystemet til renseparken, men disse har så langt ikke gitt tilfredsstillende data grunnet ulike måletekniske utfordringer. Det anbefales her at man engasjerer en ekstern leverandør for å på nytt forsøke å etablere slike målinger i renseparken.

Vannføringsmålinger, sammen med hyppigere målinger av vannkvalitet (PFAS og andre relevante vannkvalitetsparametere) i renseparken, vil utgjøre et viktig grunnlag for nærmere vurderinger av behov for tiltak og alternative prosessløsninger for en vannrenseløsning.

7 Referanser

- [1] Miljødirektoratet, «Pålegg om å utarbeide tiltaksplaner for opprydding i PFAS-forurensset grunn ved Stavanger, Alta, Haugesund, Kristiansund og Kirkenes lufthavn,» Pålegg datert 16.09.2022, 2022.
- [2] Norconsult, «Kildesporing av per- og polyfluoreerte forbindelser (PFAS). Stavanger lufthavn Sola.,» Norconsult rapport 5205614-RIM08-ENZV-E03, 2023.
- [3] Norconsult, «Tiltaksplan for PFAS-forurensset grunn som følge av brannøving. Stavanger lufthavn Sola. Aktivt (BØF1) og gammelt (BØF2) brannøvingsfelt.,» Norconsult rapport 5205614-RIM05-ENZV-E03, 2023.
- [4] Norconsult Norge AS, «Opprydding av PFAS-forurensset grunn. Gammelt brannøvingsfelt (BØF2), Stavanger lufthavn. Sluttrapport.,» Norconsult rapport 5205614-RIM20-ENZV, rev. E03, 2025.
- [5] Norconsult, «Innledende miljøteknisk grunnundersøkelse ved område for tidligere brannøving (BØF3), Stavanger lufthavn,» Norconsult rapport 5205614-RIM04-ENZV-3-J02, 2022.
- [6] Norconsult Norge AS, «Miljøteknisk grunnundersøkelse. Område for tidligere brannøving (BØF3) og nedlagt avfallsfylling. Stavanger lufthavn.,» Norconsult rapport 5205614-RIM18-ENZV-3, 2024.
- [7] Norconsult Norge AS, «Opprydding av PFAS-forurensset grunn. Gammelt brannøvingsfelt (BØF2), Stavanger lufthavn. Detaljert tiltaksplan - revidert versjon mai 2024,» Norconsult rapport 5205614-RIM11-ENZV, rev. E04, 2024.
- [8] Statens vegvesen, «Anslagsmetoden, Håndbok R764,» 2021.
- [9] Norconsult, «Oppdatert spredningsberegning brannøvingsfelt, Stavanger lufthavn,» Norconsult notat 5205614-RIM06-ENZV-E03, 2023.