



FELLESPROSJEKTET ARNA – STANGHELLE, FORBEREDENDE ARBEIDER

INNLAGRING- OG SPREDNINGSMODELLERING AV FERSKVANNSUTSLIPP TIL SJØ

04A	Femte utgave	21.03.2024	GEDM	AUHD	EISI	
03A	Fjerde utgave	15.03.2024	GEDM	AUHD	EISI	
02A	Tredje utgave	23.02.2024	GEDM	AUHD	EISI	
01A	Andre utgave	14.12.2023	GEDM	AUHD	MAPM	
00A	Første utgave	23.10.2023	GEDM	AUHD	MAPM	
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av	
Tittel: Innlagring- og spredningsmodellering av ferskvannsutslipp til sjø		Ant. sider	Fritekst 1d			
		46	Fritekst 2d			
			Fritekst 3d			
			Produzent			
		Prod. dok. nr.		COWI		
		Erstatning for				
Erstattet av						
Prosjekt: Fellesprosjektet Arna – Stanghelle, forberedende arbeider Parsell: 01		Dokument nr.			Rev.	
		FAS-01-A-00062			04A	
  Statens vegvesen		Dokument nr.			Rev.	

1	SAMMENDRAG	4
2	INNLEDNING.....	6
2.1	STRATEGI OG MILJØTILSTAND.....	7
2.2	GRENSEVERDIER.....	9
2.2.1	<i>Suspendert stoff.....</i>	9
2.2.2	<i>Metaller</i>	9
2.2.3	<i>Næringsalter.....</i>	10
2.3	UTSLIPPSMENGDER TUNNELVANN.....	10
3	SØRFJORDEN	12
3.1	GENERELL BESKRIVELSE.....	12
3.2	BAKGRUNNSKONSENTRASJONER AV SUSPENDERT STOFF, METALLER OG NÆRINGSSALTER.....	13
3.2.1	<i>Suspendert stoff.....</i>	13
3.2.2	<i>Metaller</i>	14
3.2.3	<i>Næringsalter.....</i>	16
4	KONSENTRASJON AV STOFFER I UTSLIPPSVANNET	18
4.1	STOFFER I UTSLIPPSVANNET	18
4.2	NITROGENFORBINDELSER	19
4.3	SYREDANNENDE BERG.....	20
5	NØDVENDIG FORTYNNING	21
5.1	FORTYNNINGSKRAV	21
5.2	NITROGENFORBINDELSER	22
6	INNLAGRINGSBEREGNINGER	25
6.1	CORMIX MODELL	25
6.2	INPUT I MODELLEN	25
6.3	SIMULERING AV INNLAGRING OG FORTYNNING VED MAKSIMUM MOMENTAN VANNFØRING AV TUNNELVANN.....	28
6.4	SIMULERING AV INNLAGRING OG FORTYNNING VED FORSKJELLIGE VANNFØRINGER FOR VURDERING AV UTSLIPP AV NITROGENFORBINDELSER	31
6.4.1	<i>Maksimum vannføring av tunnelvann (gjennomsnitt per uke).....</i>	31
6.4.2	<i>Minimum vannføring av tunnelvann.....</i>	32
6.4.3	<i>Sammendrag - konsentrasjonsøkning av nitrogenforbindelser ved utslipp av tunnelvann med forskjellige vannføringer.....</i>	33
6.5	FØLSOMHETSANALYSE STRØMHASTIGHET.....	34
6.6	MAKSIMUM AKSEPTABEL KONSENTRASJON I UTSLIPPSVANNET.....	34
6.7	BEREGNING AV UTSLIPPETS EFFEKT PÅ VANNKVALITET I RESIPIENTEN.....	35
6.8	KONKLUSJON	36
7	SEKUNDÆRFORTYNNING I FJORDEN	37
7.1	INNLEDNING	37
7.2	SEKUNDÆRFORTYNNING.....	37
7.2.1	<i>Boxmodell</i>	37
7.2.2	<i>Beregning med vannutskiftning</i>	38
7.3	USIKKERHETER	39
7.4	KONKLUSJON	40
8	ANBEFALTE UTSLIPPSDYP	41
8.1	UTSLIPPSDYBDE	41
8.2	AVSTAND TIL BERGSJAKTENE	42
9	OVERVÅKNING OG MULIGE TILTAK.....	43
9.1	OVERVÅKNING.....	43
9.2	TILTAK	43
10	REFERANSER	44

11 BILAG A: PROGRESSIV VEKTORPLOT 46

1 SAMMENDRAG

I Fellesprosjektet Arna - Stanghelle (FAS) skal Statens vegvesen og Bane NOR bygge ny vei og jernbane mellom Arna i Bergen og Stanghelle i Vaksdal kommune. I dette notatet er det sett på effekt av utslipp av tunnelvann fra anleggsarbeidet til Sørfjorden. Hensikten med notatet er å vurdere fjordens tåleevne for aktuelle stoffer og anbefalt utslippsdyp for rensset tunnelvann i anleggsfasen.

Notatet baserer seg på 1) informasjon om førtilstand i fjorden fra pågående forundersøkelse. 2) forventet mengde tunnelvann fra etablering av tunnelene i hovedprosjekt for FAS og 3) relevante forurensende stoffer som tunnelvann inneholder (det gjelder særlig partikler, metaller og næringssalter). Relevante konsentrasjoner av de forskjellige stoffene i tunnelvann er hentet fra litteratursøk.

Målet er at utslippet ikke skal bidra til dårlig kjemisk tilstand, eller at dagens miljøtilstand i fjorden skal forringes over tid. Ut fra dagens tilstand og konsentrasjon i tunnelvannet, kan man regne ut hva som er nødvendig fortykning i fjorden for å opprettholde dagens miljøtilstand for de forskjellige stoffene. I henhold til Miljødirektoratets metodikk er det benyttet et influensområde på 300 m, hvor konsentrasjonene kan overskride miljømålene (Miljødirektoratet, 2019b).

CORMIX modelleringsverktøy ble benyttet for å simulere hvordan utslippet av tunnelvann vil spre seg i direkte nærhet av utslippspunktet (primærfortynning) og undersøke om nødvendig fortykning oppnås. CORMIX modellen ble benyttet for forskjellige forhold, og forskjellige utslippsdybder. Ut fra modelleringsresultatene kan man bestemme hvilket dyp utslippet må ligge på for at fortykningen er tilstrekkelig slik at grenseverdier for stoffer overholdes.

Foreløpig foreligger det ikke tilstrekkelig informasjon om bakgrunnskonsentrasjonen av metaller i sjøvann i Sørfjorden. Enkelte målinger viser konsentrasjoner over grenseverdi til moderat kjemisk tilstand av arsen, kadmium, kobber, kvikksølv og sink. Det er imidlertid usikkerheter knyttet til kvantifikasjonsgrenser, og det mangler fortsatt en del målinger for å dekke et års syklus. Fortyningen av metaller i utslippet er stort sett tilfredsstillende.

Resultatene fra modelleringen av primærfortynning viser at den største utfordringen blir næringssalter (nitrogen og nitrat) som slippes ut som følge av bruk av sprengstoff. I henhold til Direktoratgruppen, 2018 gjelder tilstandsklassifisering for næringssalter de øvre 10 m av vannsøylen. Dybden på fotisk sone (hvor lys slipper til) vil variere mellom vannforekomster og over tid, og lyset avtar gradvis mot dypet. Vurderingene har derfor tatt utgangspunkt i at utslippet av tunnelvann ikke må komme opp i de øvre 20-30 m vanddyp for å ha en ekstra sikkerhet med hensyn til risiko for algeoppblomstring. Deponering av sprengstein vil også gi betydelige tilførsel av næringssalter til fjordvannet, i tillegg er det utslipp av næringssalter fra oppdrettsnæring og kommunal kloakk. For å unngå at tunnelvannet innlagres i samme dyp som disse utslippene anbefales det at tunnelvannet slippes ut på 100 m dyp.

Det er gjort en enkel vurdering av videre spredning (sekundærfortynning) av nitrogen og nitrat i hele fjordsystemet siden det vil slippes ut såpass store mengder av disse stoffene. Vurderingen viser at nitrogen/nitrat i utslipp av tunnelvann (ved ca. 100 m dyp) og deponering av sprengstein i fjorden via bergsjakter (ved ca. 25-30 m dyp)

sannsynligvis ikke vil medføre en forringelse av tilstanden over tid, og over hele fjordsystemet. På grunn av usikkerhetene knyttet til spredning i fjorden, kan det ikke utelukkes at nitrogen og nitratkonsentrasjonen lokalt og midlertidig kan tilsvare moderat/dårlig tilstand. Det anbefales grundig overvåkning av fjorden i første anleggsfase, og eventuelt iverksetting av tiltak hvis nitrogen/nitratbelastning blir for stor.

2 INNLEDNING

I Fellesprosjektet Arna - Stanghelle (FAS) skal Statens vegvesen og Bane NOR bygge ny vei og jernbane mellom Arna i Bergen og Stanghelle i Vaksdal kommune (Figur 2-1). Den statlige reguleringsplanen for FAS ble godkjent i april 2022. Ny jernbane og vei skal gå i tunnel med en kort dagsone på Vaksdal. Ny E16 har i tillegg en kort dagsone på Trengereid. Forbedrende arbeider har planlagt oppstart i 2024 og består av en rekke større og mindre enkeltstående entrepriser. Disse skal etter planen være gjennomført første halvår 2026. Hele prosjektet har en forventet anleggsperiode på 10 år.

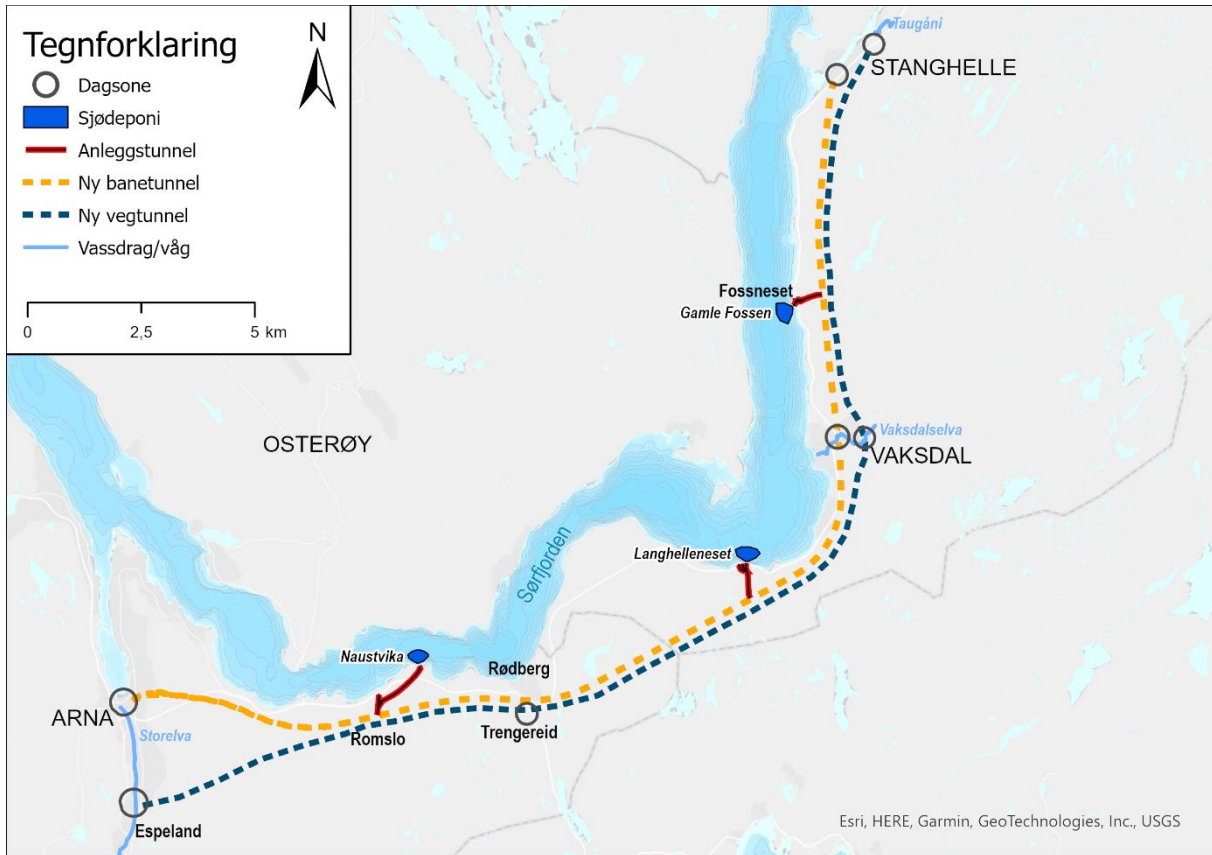


Figur 2-1: Ny jernbane- og vegtraséer fra Arna til Stanghelle som er vedtatt i reguleringsplan. Illustrasjon: SVV.

I anleggsfasen skal sprengstein fra tunnelene deponeres i tre sjødeponier. Disse er ved Naustvika, Langhelleneset og Gamle Fossen. Sprengsteinsmassene skal deponeres via bergsjakter i fjell med utløp på ca. 25-30 m dyp i Sjøfjorden.

Tunnelvann fra tunneldrivingen og innlekkasjevann fra etablering av tunneler i forberedende arbeid og hovedentreprisen vil føres gjennom et renseanlegg og ut til sjø gjennom utslippsledninger. Det er planlagt fire utslippspunkt, disse er ved Romslo, Trengereid, Langhelleneset og Gamle Fossen (Figur 2-2). Utslippsvannet fra driving av tunneler vil inneholde en del stoffer som potensielt kan forringe vannmiljøet i fjorden. I dette notatet utføres det derfor en resipientanalyse, som omfatter en vurdering av miljøpåvirkning av utslipp av tunnelvann i resipienten Sjøfjorden ved ulike utslippsdyp. Resipientanalysen inneholder en beregning av forventede konsentrasjoner av stoffer i utslippsvannet og videre til fjorden gjennom fortykning. Beregnede konsentrasjoner i sjøen sammenliknes med definerte

konsentrasjonsgrenser av aktuelle stoffer i en tilstandsklasse, i henhold til veileder M-608/2016 (Miljødirektoratet, 2020) og veileder 02:2018 (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018)



Figur 2-2: Lokasjon av utslippsledninger (Romslo, Trengereid, Langhelleneset og Gamle Fossen)

2.1 Strategi og miljøtilstand

Utslipp av tunnelvann kan gi uønskede effekter i fjorden. Store partikkelmengder i vannet kan føre til økt sedimentasjon og tilslamming, høye konsentrasjoner av metaller kan gi toksiske effekter, mens næringssalter kan gi økt algeoppblomstring som igjen kan føre til økt oksygenforbruk i vannmassene. Fjorden er allerede belastet med tilførsler av organisk materiale, og næringssalter fra fiskeoppdrett og kommunal kloakk, noe som gjør at bunnvannet i fjorden stedvis har dårlige oksygenforhold. Det er derfor viktig å vurdere samlet belastning på fjorden særlig når det gjelder næringssalter (nitrogenforbindelser), både utslippet fra FAS og eksisterende kilder. Eksisterende kilder (som også kan være historiske) bidrar til dagens miljøtilstand i fjorden. Miljøtilstanden i fjordvannet kartlegges av FAS gjennom månedlig prøvetaking, og analyser av aktuelle stoffer (bakgrunnsmålinger).

Ved punktutslipp, som ledningene for tunnelvann vil være, må man forvente at tilstanden lokalt kan forringes. Det er viktig at primærinfluensområdet ikke blir for stort. Et primærinfluensområde med en radius på 300 m fra utslippspunktet vurderes som akseptabelt (Miljødirektoratet, 2019b). COWI har utført modellering for å

beregne hvor stor fortytning av tunnellovann-utslippene som må til for å unngå uakseptabel forringelse av miljøtilstanden i fjorden.

Direktoratsgruppen vanndirektivet (2018) angir definisjonen av miljøtilstand som er vist i Figur 2-3, med inndeling fra Svært god til Svært dårlig.

Miljøtilstand- og miljømål-klassifisering



Figur 2-3: Definerings av miljøtilstanden og miljømål-klassifisering (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018)

Rapporten følger strategien for vurdering av influensområde som beskrevet i Miljødirektoratets faktaark M-1288 2019 (Figur 2-4) hvor konsentrasjonen av stoffer i utslippsvannet sammenliknes med AA-EQS (konsentrasjon innenfor tilstandsklasse 'god'). I tilfellene hvor konsentrasjonen er høyere, beregnes nødvendig fortytning for å oppnå konsentrasjon under AA-EQS. Til slutt beregnes primærfortynningen fra utslippet med CORMIX modellen i en sektor på 300 m rundt utslippspunktet.



Figur 2-4: Viser prosess for beregning av influensområde (Miljødirektoratet, 2019b)

2.2 Grenseverdier

2.2.1 Suspendert stoff

Statsforvalteren har gitt grenseverdier for suspendert stoff i tillatelsen til sjødeponiene (Statsforvalteren, 2023). Teksten nedenfor omtaler grenseverdiene.

Det er satt grenseverdier for suspendert finstoff angjeve som mg suspendert stoff pr. liter.

Grenseverdier for suspendert stoff er sett i forhold til det som på førehand er målte naturlige bakgrunnsnivå i Sør- og Veafjorden over eit år. Grenseverdiene gjeld i vasslaga der torskkegg- og larvar, anadrom laksefisk og oppdrettsfisk stort sett opphold seg og beveger seg i.

Grenseverdi for suspendert stoff (SS) i gyteperioden for torsk (frå februar og ut april) er 5 mg/l over naturleg bakgrunnsnivå.

Grenseverdi for suspendert stoff (SS) utanom gyteperioden inkludert ved oppdrettsmerdene er 15 mg SS/l over naturleg bakgrunnsnivå.

Det betyr altså at man kan øke konsentrasjon med 5 mg SS/l i gyteperioden. Vannlag hvor fisk, larver og torskkegg befinner seg er stort sett i de øvre vannlag.

2.2.2 Metaller

Grenseverdier for klassifisering av metaller i kystvann er definert i Miljødirektorat sin veileder M-608 (Tabell 2-1).

Tabell 2-1: Tilstandsklasser for kystvann ($\mu\text{g/l}$). Fra: (Miljødirektoratet, 2020)

Navn på stoff	Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV	Klasse V
	Bakgrunn	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Metaller					
Arsen	0 - 0,15	0,15 - 0,6	0,6 - 8,5	8,5 - 85	> 85
Bly	0 - 0,02	0,02 - 1,3	1,3 - 14	14 - 57	> 57
Kadmium	0 - 0,03	0,03 - 0,2	Fotnote 1	Fotnote 2	Fotnote 2
Kobber	0 - 0,3	0,3 - 2,6		2,6 - 5,2	> 5,2
Krom	0 - 0,1	0,1 - 3,4	3,4 - 35,8	35,8 - 358	> 358
Kvikksølv	0 - 0,001	0,001 - 0,047	0,047 - 0,07	0,07 - 0,14	> 0,14
Nikkel	0 - 0,5	0,5 - 8,6	8,6 - 34	34 - 67	> 67
Sink	0 - 1,5	1,5 - 3,4	3,4 - 6	6 - 60	> 60

2.2.3 Næringssalter

Klassifisering av næringssalter i kystvann er definert i Tabell 2-2. Her bruker vi 'Overflatelag Sommer', som har det strengeste «kravet».

Tabell 2-2: Tilstandsklasser for næringssalter. Fra: (Direktoratsgruppen vanddirektivet, 2018).

Parameter		Tilstandsklasser				
		I	II	III	IV	V
		Svært god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Overflatelag Sommer (Juni-August)	Totalfosfor ($\mu\text{g P/l}$)*	< 11,5	11,5-16	16-29	29-60	>60
	Fosfat ($\mu\text{g P/l}$)*	<3,5	3,5-7	7-16	16-50	>50
	Total nitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	< 250	250-330	330-500	500-800	>800
	Nitrat+nitritt ($\mu\text{g N/l}$)*	< 12	12-23	23-65	65-250	>250
	Ammonium ($\mu\text{g N/l}$)*	< 19	19-50	50-200	200-325	>325
	Siktedyp (m)	> 7,5	7,5-6	6-4,5	4,5-2,5	<2,5
Overflatelag Vinter (Desember-Februar)	Totalfosfor ($\mu\text{g P/l}$)*	< 20	20-25	25-42	42-60	>60
	Fosfat ($\mu\text{g P/l}$)*	<14,5	14,5-21	21-34	34-50	>50
	Total nitrogen ($\mu\text{g N/l}$)*	<291	291-380	380-560	560-800	>800
	Nitrat+nitritt ($\mu\text{g N/l}$)*	<97	97-125	125-225	225-350	>350
	Ammonium ($\mu\text{g N/l}$)*	<33	33-75	75-155	155-325	>325
Dypvann	Oksygen ($\text{ml O}_2/\text{l}$)**	>4,5	4,5-3,5	3,5-2,5	2,5-1,5	<1,5
	Oksygen metning (%)***	>65	65-50	50-35	35-20	<20

* Omregningsfaktor til mg-at/l er 1/31 for fosfor og 1/14 for nitrogen. ** Omregningsfaktor til $\text{mg O}_2/\text{er}$ 1,42. *** Oksygenmetning er beregnet for saltholdighet 33 og temperatur 6 °C.

2.3 Utslippsmengder tunnelvann

Basert på planlagte driveretninger, beregningen av maksimum tillatt innlekkasjevann og nødvendig vann for tunneldriving er det tatt utgangspunkt i følgende maksimum/minimum vannmengder som skal slippes ut (Tabell 2-3). Maksimum vannmengder oppnås i slutfasen av prosjektet når lengden av tunnelene er maksimale, det vil si når mengde innlekkasjevann også er maksimalt. Minimum

vannmengder oppnås i startfasen av prosjektet, når det bare brukes drivevann. Utslippsvannet er ferskvann.

Utslippet på Trengereid er en blanding av tunnelvann og sigevann fra sprengsteinsfylling/-deponi. Fordelingen er tilnærmet 50/50 i gjennomsnitt fra de 2 utslippskildene. Sigevannet fra deponiet ved Trengereid vil fortynnes med terrevann. Deponiavrenningen kommer først og utslippet av tunnelvann vil øke utover i hovedprosjektet og kan bli dominerende i slutfasen av hovedprosjektet. Som grunnlag til modelleringen er det benyttet samme konsentrasjon i utslippet som for tunnelvannutslippene til sjø.

Tabell 2-3: Vannføring av tunnelvann, rørdimensjon og vannhastighet ved utslipp fra tunneldriving og sigevann fra sprengsteinsfylling (kun Trengereid) ved bygging av ny vei og bane fra Arna til Stanghelle (COWI, 2023c). Med momentan menes den høyeste vannføringen som vil kunne oppstå.

Utslipps punkt	Maks vannføring (momentan)	Maks vannføring (gj. snitt over en uke)	Minimum-vannføring	Rør Dimensjon (d _y)	Strøm-hastighet i rør ved utslipps-punkt
Romslo	73,9 l/s	32,2 l/s	4 l/s	315 mm	1,2 m/s
Lang helle neset	82,6 l/s	46,6 l/s	4,6 l/s	315 mm	1,4 m/s
Gamle Fossen	69,3 l/s / 71.26 l/s*	28 l/s	4,5 l/s	315 mm	1,1 m/s
Trengereid	45 l/s	9,7 l/s	3,1 l/s	280 mm	1,2 m/s

*) Hvis innlekkasjekrav økes fra 25 l/min/100m til 40 l/min/100m i transporttunnelen.

3 SØRFJORDEN

3.1 Generell beskrivelse

Sørfjorden er en innlands terskelfjord med flere bassenger som delvis omgir Osterøy, Vestland. Sørfjorden (Vannforekomst-ID 0261020100-2-C) strekker seg langs sør- og vestsiden av Osterøy og går fra Vaksdal og Veafjorden i øst til Osterfjorden ved Knarvik i vest. Sørfjorden er dypest ved Bruvik (425 m). I Sørfjorden ligger flere akvakulturanlegg som ble etablert på 1970-tallet.

I vann-nett er Sørfjorden beskrevet med moderat økologisk tilstand (Miljødirektoratet, 2023). Dette skyldes forhøyede nivåer av klorofyll-a og nitrat+nitritt, samt diversiteten av bløtbunnsfauna. Den kjemiske tilstanden er dårlig, basert på konsentrasjoner av prioriterte miljøgifter. Stoffene som trekker tilstanden ned, er diverse PAH-forbindelser i sediment.

Strømforholdet i Sørfjorden styres av tidevannsvariasjoner, tettshetsforskjeller, ferskvannstilførsel fra land og meteorologiske forhold (vind, lufttrykk) (Dam, 2022). Sørfjorden har en gjennomsnittlig tidevannsforskjell mellom høy- og lavvann på 123 cm (Kartverket, 2023). Det er et stort vannvolum som skal fylles/tømmes i fjordsystemet under en tidevannssyklus på 12,5 timer, og det medfører tidevannstrømning inn og ut av fjordsystemet. Strømningsmålinger fra 2020 og 2021 i dette fjordsystemet viser at tidevannsstrømning er en av de dominerende prosessene for strømning (Rambøll/SWECO, 2022). Tidevannstrømning pågår alltid, uavhengig av værforhold eller ferskvannsavrenning. Strømningen som drives av tetthetsforskjeller kan også spille en svært viktig rolle for hydrodynamikken i fjorden (Dam Engineering, 2017). Det er periodevis relativt høy tilførsel av ferskvann til fjordsystemet, som medfører mer eller mindre permanent lagdeling i fjorden. Tykkelsen på ferskvannslaget varierer avhengig av tilførselen. Fjordsystemet rundt Osterøy har en årlig ferskvannsavrenning på gjennomsnittlig 10 km³ (tilsvarende ca. 317 m³/s). Generelt er tilførselen høyest i mai / juni med gjennomsnittlig på 800 m³/s grunnet snøsmeltingen. I tillegg er det vanlig med høy vannføring rundt oktober på omtrent 400 m³/s. Den største elven i fjordsystemet er Vosso, med middelvannføring på rundt 104 m³/s. Tykkelsen på ferskvannslaget er generelt størst i nordligste delen av Veafjorden, og blir gradvis lavere sørover. Ferskvannslaget har en medrivende effekt på underliggende vannlag og gir en brakkevannstrøm i overflaten. Dette skaper igjen en kompensasjonsstrøm under brakkevannslaget, med tyngre vann i motsatt retning. Prosessen kalles også estuarinsirkulasjonen. I overflatelag kan også variasjoner i vindhastighet og -retning være avgjørende for strømningene.

Sørfjorden og Veafjorden er koblet til åpent hav gjennom Kvernafjorden og Salhusfjorden. Tersklene i de utenforliggende sjøområder styrer vannutskifting særlig i dypvannet i fjordsystemet. For fjordsystemet rundt Osterøy er grunneste terskel mot Nordsjøen på 120 meter ved Hjeltefjorden. Under terskelnivået i Sørfjorden finner man bassengvannet, som er tyngre (mer saltholdig) enn det overliggende vannet. Vannet er mer eller mindre stillestående og oksygen blir langsomt brukt opp av biologiske prosesser. Det tilføyer bare nytt oksygen når bassengvannet skiftes ut når tungt oksygenrikt vann fra sjøen kommer over terskelen. Målinger i Sørfjorden viser at oksygenforhold over en tre-års periode fra 2014-2016 har endret seg fra en god tilstand til en dårlig tilstand under terskelnivå (Rådgivende Biologer, 2017). I denne perioden var det altså ingen utskifting av bunnvannet.

3.2 Bakgrunnskonsentrasjoner av suspendert stoff, metaller og næringsalter

Det er blitt tatt vannprøver i Sørfjorden for analyse av metaller, næringsalter og suspendert stoff på 2 til 3 stasjoner i en gradient fra hvert utslippspunkt. Prøvene er tatt av overflatevann (0 m), like under sprangsjiktet (20 m) og i dypvannet. Overflateprøvene i sommerhalvåret er i tillegg analysert for klorofyll-a. For å kunne karakterisere vannforekomsten er prøvene tatt en gang per måned. Første prøvetaking var i mars 2023, og forundersøkelsen vil foregå frem til og med februar 2024. Analysene gir informasjon om bakgrunnskonsentrasjonen til de aktuelle stoffene, og dagens tilstand i fjorden.

Informasjon om bakgrunnskonsentrasjoner kommer fra totalt 233 vannprøver tatt for FAS gjennom månedene mars til og med september 2023 (COWI, 2023).

3.2.1 Suspendert stoff

Det er utført analyser av suspendert stoff i vannmassene, vist i Tabell 3-1. Av 261 prøver, er der 57 prøver som er over LOQ på 2 mg/l. Resultatene varierer fra 2-4 mg/l, med unntak av to målinger, på 7,3 og 9,8 mg/l ved Naustvika 1 på 20 m dyp i mai 2023, og ved Dalevågen midt i bunnvann i april 2023.

Tabell 3-1: Resultater fra analyser av suspendert stoff i sjøvann fra 12 overvåkingsstasjoner i Sørfjorden 2023 (n=233), 3 stasjoner ved hver av stedene Gamle Fossen, Langhelleneset, Trengereid og Naustvika, samt i Dalevågen i perioden mars-september 2023.

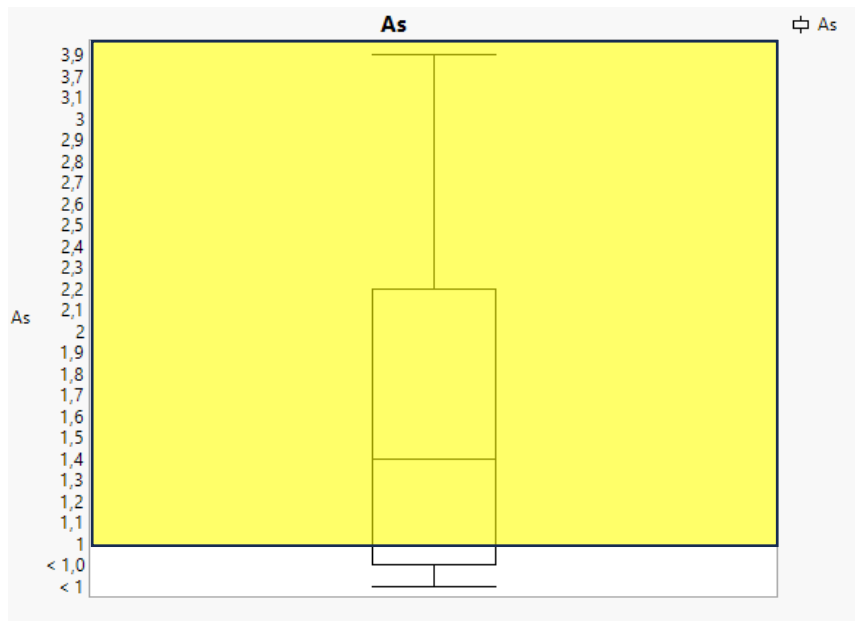
Tidspunkt	Dyp (m)	Suspendert stoff (mg/l)														
		Naust1	Naust2	Naust3	Treng1	Treng2	Treng3	LHN1	LHN2	LHN3	GF1	GF2	GF3	D-Midt	D-Heil	D-Holmen
mar.23	0	2	<2	<2	<2	<2	2,4	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
	20	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
	BUNN	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	6,9	<2	<2
apr.23	0	2,3	2,3	2,1	2,1	2,8	2,7	2,3	2,3	<2	2,4	2,6	<2	<2	<2	3,4
	20	3,2	<2	<2	<2	2,1	2,1	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
	BUNN	<2	<2	2,1	2	<2	<2	2,6	<2	<2	2	<2	<2	2,1	<2	<2
mai.23	0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	20	7,3	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	2,5	<2,0	<2,0	2,1	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	BUNN	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
jun.23	0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	20	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	BUNN	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	2	<2,0	<2,0
jul.23	0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	20	<2,0	3,3	<2,0	2,8	2,1	2,3	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	2,2	2,2	<2,0	<2,0	<2,0
	BUNN	3,8	2,9	3,3	<2,0	2,1	<2,0	<2,0	2,4	2,1	2,1	<2,0	3	2,4	<2,0	<2,0
aug.23	0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	20	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	2	3,4	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	BUNN	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	3,4	2,5	<2,0	9,8	<2,0	<2,0
sep.23	0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	20	3,6	<2,0	3,2	<2,0	<2,0	3,1	<2,0	<2,0	<2,0	2,2	2,5	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	BUNN	4	<2,0	2,3	3,4	<2,0	2,4	<2,0	<2,0	<2,0	2,7	<2,0	<2,0	3,4	<2,0	<2,0

Vi antar en bakgrunnskonsentrasjon av suspendert stoff på 2 mg/l i sjøvann videre i rapporten.

3.2.2 Metaller

Arsen

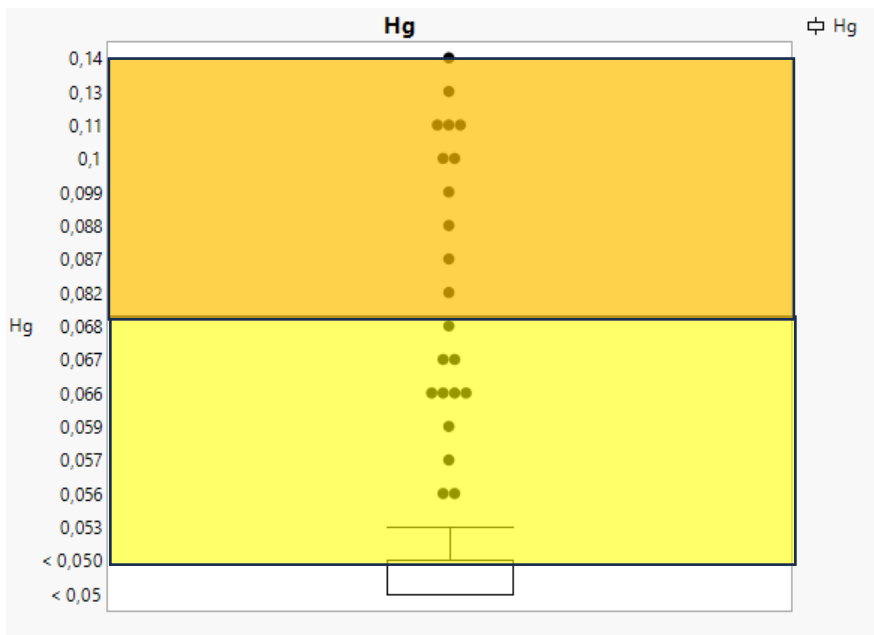
Av de 233 vannprøvene som er analysert forekommer arsen i konsentrasjoner lavere enn kvantifikasjonsgrensen (LOQ = <math><1 \mu\text{g/l}</math>) i 77 av prøvene. En konsentrasjon av arsen på $1 \mu\text{g/l}$ er en forholdsvis høy LOQ og tilsvarer tilstandsklasse moderat. Øvrige prøver hvor arsen er detektert har alle en konsentrasjon tilsvarende tilstandsklasse moderat ($>0,6 \mu\text{g/l}$ se *Figur 3-1*). Flere undersøkelser (COWI, 2020), (COWI, 2023a)) har vist at arsen ofte forekommer i tilstandsklasse moderat i sjøvann fra fjorder på Vestlandet, altså en naturlig høy bakgrunnskonsentrasjon. Det er sannsynlig at selv med en lavere LOQ (tilsvarende tilstandsklasse god) vil gjennomsnittlig konsentrasjon av arsen bli klassifisert i moderat tilstandsklasse.



Figur 3-1: Boks-plot som viser konsentrasjonen av arsen i prøver av sjøvann fra 12 overvåkingsstasjoner i Sørfjorden 2023 (n=233), 3 stasjoner ved hver av stedene Gamle Fossen, Langhelleneset, Trengereid og Naustvika. 50% av måleverdiene ligger innenfor boksen, 25% utenfor boksen markert av utstikkerne, horisontal strek i boksen viser medianen. Fargen gul angir andelen av data som klassifiserer til moderat tilstand.

Kvikksølv

Som for arsen er LOQ for kvikksølv høy ($<0,05 \mu\text{g/l}$) og tilsvarer tilstandsklasse moderat. 209 prøver av totalt 233 har konsentrasjoner lavere enn LOQ (*Figur 3-2*). Resterende 11 prøver har konsentrasjoner tilsvarende moderat tilstand, 10 dårlig tilstand og 1 prøve svært dårlig tilstand. Grenseverdien for moderat tilstand er $0,047 \mu\text{g/l}$, dvs. nær LOQ.



Figur 3-2: Boks-plot som viser konsentrasjonen av kvikksølv i prøver av sjøvann fra 12 overvåkingsstasjoner i Sørfjorden 2023 (n=233), 3 stasjoner ved hver av stedene Gamle Fossen, Langhelleneset, Trengereid og Naustvika. 50 % av måleverdiene ligger innenfor boksen, 25 % utenfor boksen markert av utstikkerne, horisontal strek i boksen viser medianen. Fargen gul og oransje angir andelen av data som klassifiserer til henholdsvis moderat og dårlig tilstand.

Laboratoriet oppgir en usikkerhet på 30 % på analyser av de aktuelle metallene i sjøvann. Tar man hensyn til usikkerheten, tilsvarer grenseverdien for deteksjon (LOQ) for arsen og kvikksølv moderat tilstand (Tabell 3-2). Når man vurderer bakgrunnskonsentrasjonen av metaller i vann, ser man på gjennomsnittskonsentrasjonen over et år. Beregner vi gjennomsnittskonsentrasjonen av de ulike metallene i vannprøvene fra Sørfjorden over månedene mars til og med september 2023, basert på målte konsentrasjoner og benytter verdiene for LOQ som faktisk verdi, vil konsentrasjonene av arsen, kvikksølv og sink tilsvare moderat tilstand (Tabell 3-2)¹. Dette er en konservativ tilnærming, det vil si at Tabell 3-2 gir høyere bakgrunnskonsentrasjon enn virkeligheten. Hvis vi legger halv LOQ til grunn endres gjennomsnittskonsentrasjonen av kvikksølv seg fra moderat til god tilstand. Tilstandsklassen for øvrige metaller forblir uendret. Av de analyserte metallene er det kvikksølv som har flest målinger under LOQ og derved har den største usikkerheten når det gjelder tilstandsklassifisering.

Med disse antagelsene i bunn, vil trolig ikke sjøvannet i Sørfjorden nå målet om god tilstand, slik forholdene er i dag. Utslipp av tunnelvann vil gå over en begrenset periode (ca. 4 år), men det blir viktig at utslippene ikke fører til ytterligere forringelse (endring av tilstandsklasse) av vannkvaliteten.

For øvrige metaller, bly, kadmium, kobber, krom, nikkel og sink tilsvarer LOQ god tilstand. Det er tidvis målte konsentrasjoner i høyere tilstandsklasse for samtlige metaller, fra moderat til dårlig og svært dårlig (jfr.Figur 2-3).

¹ COWI har meldt fra til Eurofins at kvantifikasjonsgrensen for arsen og kvikksølv må senkes. De neste prøvene som tas i oktober 2023 til februar 2024 skal analyseres med en lavere kvantifikasjonsgrense.

Det er også en usikkerhet knyttet til selve prøvetakingen. For å minimere denne er den utført med samme utstyr og personell hver gang. Analyser av vannprøver gir et øyeblikksbilde av situasjonen i fjordvannet, denne vil variere i rom og tid. Derfor gjentas prøvetakingen månedlig, og gjerne over år.

Tabell 3-2: Laboratoriets kvantifiseringsgrense (LOQ) ($\mu\text{g/l}$) for ulike metaller samt tilhørende tilstandsklasse når laboratoriets analyseusikkerhet +/- 30% er hensyntatt. Samt beregnet gjennomsnittskonsentrasjon ($\mu\text{g/l}$) for 233 prøver (hvor LOQ er benyttet som faktisk konsentrasjon (øvre tabell) og halve LOQ er benyttet (nedre tabell)). Klassifisering av Cd i tilstandsklasse III og høyere er avhengig av vannets innhold av CaCO_3 . Cd i konsentrasjoner høyere enn $0,2 \mu\text{g/l}$ er derfor ikke klassifisert i tabellen her.

	LOQ	-30 %	+30%	Gjennomsnittskonsentrasjon; LOQ benyttet som verdi
As	< 1	0,7	1,3	1,63
Pb	< 0,2	0,14	0,26	0,54
Cd	< 0,2	0,14	0,26	0,20
Cu	< 0,5	0,35	0,65	0,85
Cr	< 1	0,7	1,3	2,80
Ni	< 2	1,4	2,6	2,54
Zn	< 2	1,4	2,6	4,88
Hg	< 0,05	0,035	0,065	0,053

Halv LOQ:

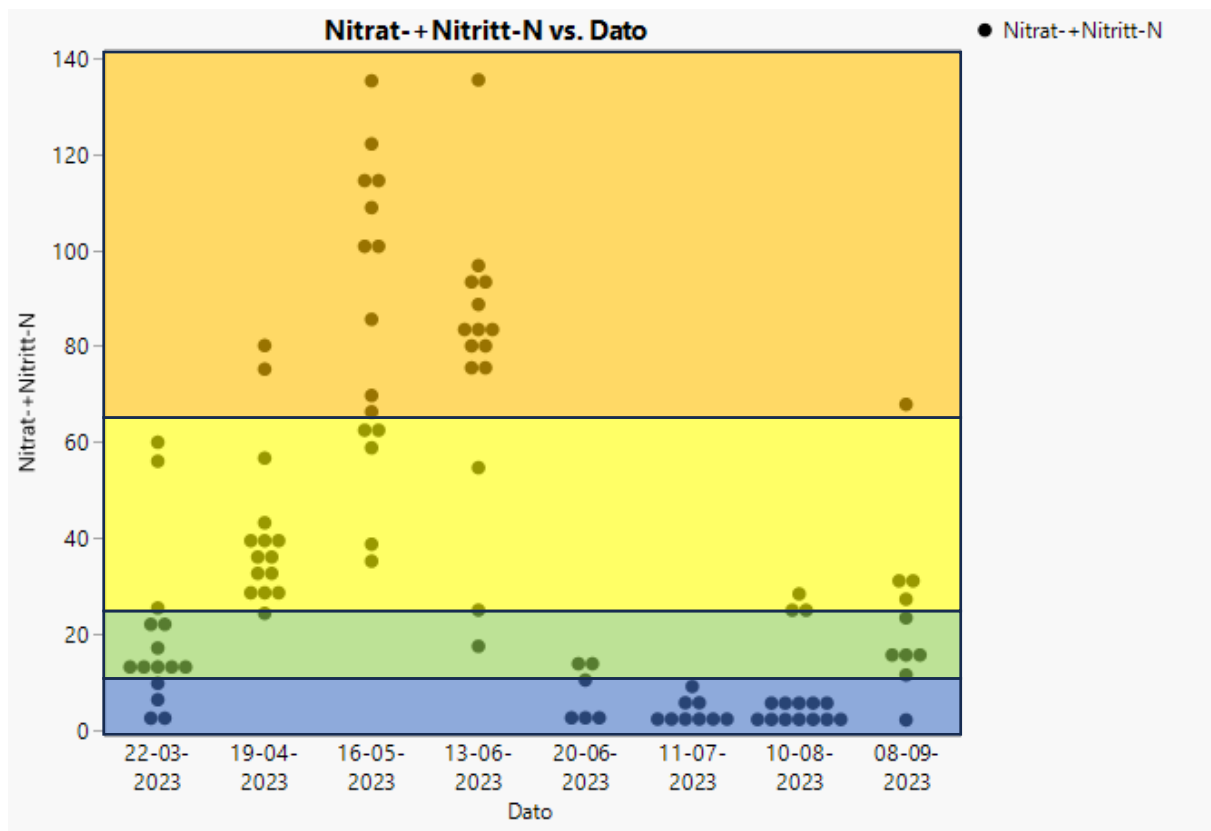
	LOQ	-30 %	+30%	Gjennomsnittskonsentrasjon; 1/2 LOQ benyttet som verdi
As	0,5	0,35	0,65	1,55
Pb	0,1	0,07	0,13	0,47
Cd	0,1	0,07	0,13	0,10
Cu	0,25	0,175	0,325	0,70
Cr	0,5	0,35	0,65	2,65
Ni	1	0,7	1,3	1,59
Zn	1	0,7	1,3	4,35
Hg	0,025	0,0175	0,0325	0,031

3.2.3 Næringsalter

Tabell 3-3 viser gjennomsnittskonsentrasjoner av næringsalter i Sørfjorden, målt i perioden mars til og med september 2023. Konsentrasjoner av næringsalter i månedene april, mai klassifiseres ikke, men legger vi sommerklassifiseringen til grunn, tilsvarte konsentrasjonene av nitrat og nitritt i månedene april, mai og juni i 2023 tilstandsklasse dårlig (Figur 3-3).

Tabell 3-3: Gjennomsnittskonsentrasjoner ($\mu\text{g N/l}$ og $\mu\text{g P/l}$) av ammonium, totalnitrogen, nitrat, nitritt, fosfat og totalfosfor i prøver av sjøvann fra 12 overvåkingsstasjoner i Sør fjorden mars tom. september 2023, 3 stasjoner ved hver av stedene Gamle Fossen, Langhelleneset, Trengereid og Naustvika. Klassifisering av næringssalter gjøres i de øvre 10 m av vannsøylen (fotisk sone). Siden lys kan nå dypere ned (20-30 m) er konsentrasjonen i vannprøver fra 20 m dyp også klassifisert etter sommerkonsentrasjoner (se kap 2.2).

Vanndyp	Ammonium	Nitrat	Nitritt	Total nitrogen	Fosfat	Total fosfor
Overflate (0 m)	<i>N=100</i>	<i>N=100</i>	<i>N=100</i>	<i>N=100</i>	<i>N=100</i>	<i>N=100</i>
	8,8	35,6	2,1	137	1,7	5,6
Under sprangsjiktet (20 m)	<i>N=74</i>	<i>N=74</i>	<i>N=74</i>	<i>N=74</i>	<i>N=74</i>	<i>N=74</i>
	25,8	74,7	5,4	203	10,6	13,9



Figur 3-3: Konsentrasjonen av nitrat-N+nitritt-N i overflatelaget (0 m) i prøver av sjøvann fra 12 overvåkingsstasjoner i Sør fjorden i mars t.o.m. september 2023, 3 stasjoner ved hver av stedene Gamle Fossen, Langhelleneset, Trengereid og Naustvika. Fargene angir klassifisering basert på sommerkonsentrasjoner, i hht. Veileder 02:2018.

4 KONSENTRASJON AV STOFFER I UTSLIPPSVANNET

4.1 Stoffer i utslippsvannet

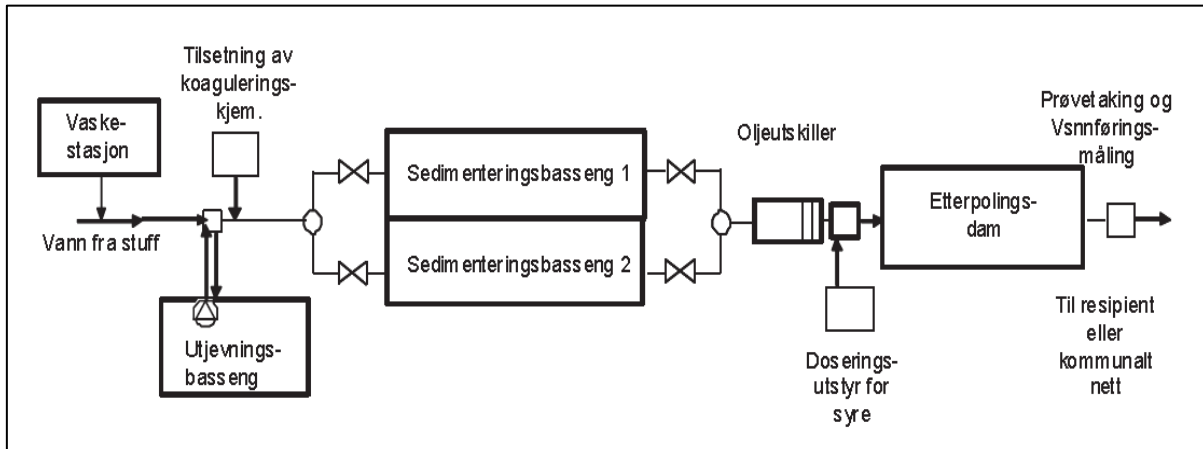
Det ble gjort et litteratursøk på hvilke stoffer og deres konsentrasjoner som slippes ut i tunnelvann som følge av sprengningsarbeid (*Tabell 4-1*). Det kan grovt sett inndeles i næringsalter (nitrogen- og fosforforbindelser), metaller og øvrige forbindelser (partikler, PAH, olje). Tallene i *Tabell 4-1* er konservative.

Tabell 4-1: Forventede konsentrasjoner av stoffer som slippes ut med tunnelvann. COWI forutsetter at suspendert stoff og olje i tunnelvannet renses til nivået angitt i tabellen før utslipp, og at pH justeres til det oppgitte intervallet. Data for fosfor og metaller er hentet blant annet fra Norsk forening for fjellsprengningsteknikk (2009), Ranneklev, et al. (2016) og Ranneklev, Garmo, Petersen, & Vikan (2017). Fargene angir klassifisering (Tabell 2-1 og Tabell 2-2).

Stoff	Kilde	Parameter	Mål enhet	Forventet konsentrasjon i ubehandlet vann	Forventet konsentrasjon etter rensing (for partikler, olje og pH: ut fra forventet renskrav)		
					Laveste verdi (årlig gjennomsnitt, ukebland prøver)	Høyeste verdi (årlig gjennomsnitt, ukebland prøver)	Høyeste verdi, ukeblandprøver
Partikler	Sprengstein	Suspendert stoff (SS)	mg/l	100–20 000	400	400	400
Fosfor		Total fosfor	µg/l		140	230	
Olje	Maskiner og utstyr	C10–C40	mg/l		5	5	5
PAH	Maskiner og utstyr	F.eks. benzo(a)pyren	µg/l		ukjent	ukjent	ukjent
Ev. andre kjemikalier	Maskiner og utstyr						
Høy pH	Sement til injeksjon	pH	-	11–12,5	6–9	9	9
<i>Metaller, oppsluttet</i>	<i>totalkonsentrasjon</i>						
Aluminium			µg/l		50	800	
Arsen			µg/l		0,5	3	7
Bly			µg/l		0,03	1	2
Kadmium			µg/l		0,04	0,1	0,3
Kobber			µg/l		5	22	100
Krom	Sement til injeksjon		µg/l		10	50	60
Krom (VI)			µg/l		26	26	60
Kvikksølv			µg/l		0,003	0,003	0,01
Nikkel			µg/l		0,3	4	9
Sink			µg/l		1	22	115

Selv om mengde utslippsvann øker over tid, antas det at konsentrasjonen av de aktuelle stoffene i utslippsvannet er lik over hele byggeperioden. Dette er fordi renskrav medfører at konsentrasjonene av de aktuelle stoffene i utslippet bør være lik. Unntatt er nitrogenforbindelser, som blir behandlet senere i dette kapitlet.

Det planlegges å samle opp og rense tunnelvann slik som vist i (Figur 4-1).



Figur 4-1. Prinsippskisse av flytskjema for renselanlegg for tunneldrivevann, hvor det skal oppnås en maks konsentrasjon (midlingstid 1 uke) av suspendert tørrstoff på 400 mg/l i utslippet, og hvor det er mulighet for pH-justering av utløpsvannet. Det kan hende at trinnet med tilsetning av koaguleringskjemikalier blir overflødig. pH-justering kan alternativt skje med CO₂. Flytskjemaet er hentet fra Norsk forening for fjellsprengningsteknikk (2009). Endelig prosessoppsett avgjøres av entreprenør.

4.2 Nitrogenforbindelser

I motsetning til metaller og øvrige stoffer vil konsentrasjonen av nitrogenforbindelser variere. Største forventede mengde nitrogen som slippes ut med tunnelvann vil variere mellom ca. 0,2 og 0,6 g/s, som gjennomsnitt per uke (Tabell 4-2). Disse beregningene er gjort ut fra planlagt uttak av tunnelstein, antatt spesifikt sprengstofforbruk på 2,1 kg/pfm³ (prosjektet fastkubikkmeter) berg, 15 % sprengstoffrester på sprengsteinen, 28 % nitrogen i sprengstoffet, og at andelen nitrogen som følger tunnelvannet er 35 % (Vikan, 2013; Roseth, Sverdrup, & Kozera, 2024).

Tabell 4-2: Forventede mengde nitrogen som slippes ut med tunnelvann

Sted	Utslipp nitrogen, maks per uke (7 dager) (g/s)		
	Ammonium-/ammoniakk-N	Nitrat-N	Tot-N
Gamle Fossen	0,29	0,29	0,59
Langhelleneset	0,3	0,3	0,6
Trengereid	0,22	0,22	0,43
Romslo/Naustvika	0,29	0,29	0,59

4.3 Syredannende berg

I eventuelle soner med syredannende berg kan konsentrasjonen av enkelte metaller i utslipp av tunnelvann øke noe. En geokjemisk kartlegging, som er utført i forbindelse med forberedende arbeider, anbefaler at det gjøres supplerende undersøkelser av potensiale for syredannende berg for tunnelstrekningen Trengereid-Vaksdal. Dette gjelder også de første 2-3 km av tunneler fra Vaksdal mot Stanghelle da det er påvist syredannende berg ved påhuggsområdet i Vaksdal for Berrfjelltunnelen. For resten av strekningene er det ikke påvist potensiale for syredannende berg (COWI, 2023d).

5 NØDVENDIG FORTYNNING

5.1 Fortynningskrav

Nødvendig fortytning (fortynningskrav) er beregnet ut fra bakgrunns-konsentrasjonene av aktuelle stoffer som er målt i Sørfjorden (Kapittel 3.2), antatte konsentrasjoner av disse stoffene i utslippsvann (Kapittel 4) og grenseverdier for stoffene i de ulike tilstandsklassene (Tabell 2-1 og Tabell 2-2). Nødvendig fortytning eller fortynningskrav betyr hvor mange ganger konsentrasjon av det aktuelle stoffet i utslippsvannet minimum må fortynnes før kravene om god miljøtilstand oppnås. Eller hvilken fortytning som må til for å opprettholde dagens tilstand. Tabell 5-1 viser tallene. Jo høyere fortynningskrav, jo vanskeligere blir det å oppnå målet.

Det er lagt til grunn følgende forutsetninger og målsettinger:

- Målet er å oppnå tilstandsklasse II (God) etter primærfortynning av utslippsvannet, innen 300 m i horisontal avstand fra utslippspunktet.
- Dermed aksepteres det at rundt utslippspunkt (innenfor 300 m) kan stoffer havne i en dårligere tilstandsklasse.
- Noen stoffer er allerede i tilstandsklasse III (Moderat) før tiltaket starter. Målet er at man for disse stoffene ikke havner i tilstandsklasse IV (Dårlig) etter at utslippet er innlagret. Det vil si at tilstrekkelig fortytning må være oppnådd utenfor 300 m i horisontal avstand fra utslippspunktet.

Tallene i Tabell 5-1 (siste 3 kolonner) er uthevet hvis fortynningskravet er ≥ 100 .

Kadmium har en kvantifiseringsverdi (LOQ) på 0,2 µg/l, som også er grenseverdien mellom tilstandsklasse II-III. Vi ser at alle analyser av kadmium i prøvene viser en konsentrasjon mindre enn 0,2 µg/l, men det er usikkert hvor mye lavere. Derfor kan vi ikke regne ut akseptabel konsentrasjonsøkning og fortynningskrav for kadmium, men antatt høyeste verdi (årlig gjennomsnitt, ukeblandprøver) av kadmium i tunnelvannet tilfredsstillende tilstandsklasse II (god).

Olje som slippes ut er lettere enn vann og vil flyte opp til overflaten. Det oppfører seg altså annerledes enn alle andre stoffer som slippes ut og kan ikke modelleres med CORMIX modellen. Olje blir derfor ikke tatt videre i betraktning i rapporten.

Tabell 5-1: Fortynningskravet for forskjellige stoffer som slippes ut med tunnelvann. Fortynningskravet angir hvor mange ganger konsentrasjonen i utslippsvannet må fortynnes for å opprettholde god tilstand (tilstandsklasse II) eller for å opprettholde dagens tilstand for stoffer som er i moderat tilstand (tilstandsklasse III) før tiltak. Fargene angir tilstandsklasse for sjøvann (Miljødirektoratet, 2020) (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018). Forventet konsentrasjon i tunnelvann etter rensing er basert på forventet rensekrav for partikler, olje og pH (kap. 4). Laveste verdi: årlig gjennomsnitt, ukeblandprøve). Høyeste verdi årlig: årlig gjennomsnitt, ukeblandprøve. Høyeste verdi uke: ukeblandprøve. Bakgrunn: målte konsentrasjoner i Sørfjorden før tiltak (kap. 3.2). Akseptabel økning: mulig konsentrasjonsøkning innenfor målt tilstandsklasse før tiltak (tilstandsklasse II eller III, salinitet > 18).

Stoff	Enhet	Forventet konsentrasjon i tunnelvann etter rensing			Bakgrunn	Øvre grense TK II eller TK III	Akseptabel økning	Fortynningskrav		
		Laveste verdi	Høyeste verdi (årlig)	Høyeste verdi (uke)				Laveste verdi	Høyeste verdi (årlig)	Høyeste verdi (uke)
Suspendert stoff	mg/l	400	400	400	2	7	5	80	80	80
Fosfor	µg/l	140	230		5,6	16	10,4	13,5	22,12	-
Olje	mg/l	5	5	5	-	-	-	-	-	-
pH	-	6-9	9	9	7		-	-	-	-
Aluminium	µg/l	50	800		-		-	-	-	-
Arsen	µg/l	0,5	3	7	1,63	8,5	6,87	0,07	0,44	1,02
Bly	µg/l	0,03	1	2	0,54	1,3	0,76	0,04	1,32	2,63
Kadmium	µg/l	0,04	0,1	0,3	0,2*	0,2	0*	-	-	-
Kobber	µg/l	5	22	100	0,85	2,6	1,75	2,86	12,6	57,1
Krom	µg/l	10	50	60	2,8	3,4	0,6	16,7	83,3	100
Krom (VI)	µg/l	26	26	60						
Kvikksølv	µg/l	0,003	0,003	0,01	0,053*	0,07	0,017	0,18	0,18	0,59
Nikkel	µg/l	0,3	4	9	2,54	8,6	6,06	0,05	0,66	1,49
Sink	µg/l	1	22	115	4,88*	6	1,12	0,89	19,6	102,7

Kvantifiseringsgrensen (LOQ) for kadmium, kvikksølv og sink i sjøvann er høy og påvirker sterkt at bakgrunnskonsentrasjonene havner i moderat tilstand.

5.2 Nitrogenforbindelser

For nitrogenforbindelser er det ikke tatt utgangspunkt i en fast konsentrasjon i tunnelvannet over anleggsperioden, men en fast mengde stoff som slippes ut (Tabell 4-2). Denne mengden (i gram/sekund) fortynnes med mengde tunnelvann (liter/sekund). Siden mengde tunnelvann varierer sterk over anleggsperioden er det behov for å se på startfasen med minimumsvannføring og dermed høy konsentrasjon, slutfasen med maksimumsvannføring og lav konsentrasjon (Tabell 5-3).

Tabell 5-2 viser bakgrunnskonsentrasjon, øvre grenseverdi og akseptabel økning innenfor tilstandsklassene for nitrogenforbindelser. Akseptabel konsentrasjonsøkning brukes videre i Tabell 5-3 til å regne ut fortynningskrav.

Tabell 5-2: Bakgrunnskonsentrasjon, øvre grenseverdi tilstandsklasse og akseptabel konsentrasjonsøkning innenfor tilstandsklassene.

Stoff	Bakgrunn	Øvre grense TK II eller TK III	Akseptabel økning (µg/l)
Nitrogen (Tot-N)	137	330	193
Nitrat-N	35,6	65	29,4
Ammonium	8,8	50	41,2

Tabell 5-3 viser at utslippet av næringssalter med tunnelvannet krever stor fortykning, opptil flere hundre til tusen ganger. Det er de øvre 10 m av vannsøylen som ved karakterisering av vannforekomster skal klassifiseres med hensyn til næringssalter (Miljødirektoratet, 2020). Fotisk sone er den vertikale sonen hvor det er lys nok for algenes fotosyntese. Økt innhold av næringssalter i denne sonen kan bidra til uønsket oppblomstring av planteplankton (algeoppblomstring). Hvor dypt lyset kan trenge ned i vannsøylen vil variere², men det kan gjerne rekke ned til 20-30 m. Planktonoppblomstring skjer i utgangspunktet gjerne i tynne lag, som kan strekke seg over store avstander, og plutselig «tilte» og føre til større vertikal utbredelse. Oppblomstringen kan vedvare i dager eller lenger, og ha flere kilometer horisontal utbredelse, med vertikal utbredelse fra noen få millimeter til mange meter. Hvordan planktonlagene utvikler seg er avhengig av interaksjoner mellom fysiske, kjemiske og biologiske prosesser. Enkelte fytoplankton er svømmende og kan derved migrere nedover, andre stoppes av pyknoklinen (vannlag med ulik tetthet). Gradienter i turbulens og vertikale skjærkrefter har også betydning for utbredelsen av alger i vannmassen (Berdalet, 2017). Med bakgrunn i dette anbefales det, som et føre-var-prinsipp, at det benyttes samme målsetting til næringssalter for dypere vannlag ned til 20-30 m, som for de øvre 10 m av vannsøylen.

² [Saltvann - Institutt for biovitenskap \(uio.no\)](http://saltvann.uio.no)

Tabell 5-3: Fortynningskravet for næringsalter som slippes ut med tunnelvann. Fortynningskravet angir hvor mange ganger konsentrasjonen i utslippsvannet må fortynnes for å opprettholde god tilstand (tilstandsklasse II) eller for å opprettholde dagens tilstand for stoffer som er i moderat tilstand (tilstandsklasse III) før tiltak. Fargene angir tilstandsklasse for sjøvann (Miljødirektoratet, 2020) (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018). Akseptabel økning: mulig konsentrasjonsøkning innenfor målt tilstandsklasse før tiltak (tilstandsklasse II eller III, salinitet > 18).

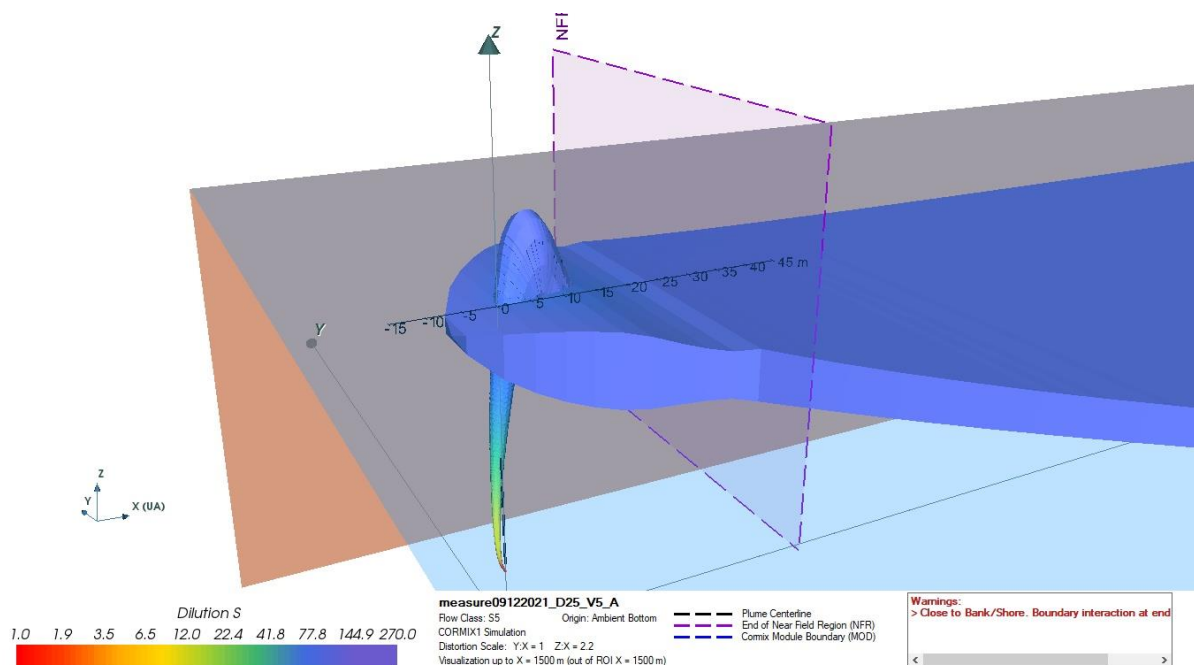
Sted	Min vannføring (l/s)	Konsentrasjon (µg/l)			Akseptabel økning (µg/l)			Fortynningskrav		
		Ammonium-/ammoniak-N	Nitrat-N	Tot-N	Ammonium-/ammoniak-N	Nitrat-N	Tot-N	Ammonium-/ammoniak-N	Nitrat-N	Tot-N
Gamle Fossen	4,5	64444	64444	131111	41	29	193	1564	2192	679
Langhelleneset	4,6	65217	65217	130435	41	29	193	1583	2218	676
Trengereid	3,1	70968	70968	138710	41	29	193	1723	2414	719
Romslo	4	72500	72500	147500	41	29	193	1760	2466	764
	Maks vannføring (l/s); gj.snitt per uke				Akseptabel økning					
Gamle Fossen	28	10357	10357	21071	41	29	193	251	352	109
Langhelleneset	46,6	6438	6438	12876	41	29	193	156	219	67
Trengereid	9,7	22680	22680	44330	41	29	193	550	771	230
Romslo	32,2	9006	9006	18323	41	29	193	219	306	95
	Maks vannføring (l/s); momentan				Akseptabel økning					
Gamle Fossen	69,3	4185	4185	8514	41	29	193	102	142	44
Langhelleneset	82,6	3632	3632	7264	41	29	193	88	124	38
Trengereid	45	4889	4889	9556	41	29	193	119	166	50
Romslo	73,9	3924	3924	7984	41	29	193	95	133	41

6 INNLAGRINGSBEREGNINGER

6.1 CORMIX modell

For å beregne fortykning av utslippsvann er CORMIX modellen benyttet. Dette er en modell som regner ut primærfortynning av utslippsvann i fjordvannet. Modellen regner ut hvordan «plumen» fra utslipp beveger seg vertikalt i vannsøylen, fortynnes og til slutt innlagres i et vertikalt vannlag (CORMIX, About CORMIX, u.d.). Etter innlagring sprer utslippsvannet seg videre med sekundærfortynning, det vil si at den sprer seg videre med strømninger i fjorden. Modellen regner ut fortykningen i nærsonen, i dette tilfelle noen hundre meter fra utslippspunktet.

Utslippsvannet er ferskvann, som er lettere enn saltvann. Dermed stiger utslippsvannet i første instans oppover i vannsøylen. CORMIX tar ikke høyde for bathymetrien i fjordsystemet (siden det er direkte rundt utslippspunkt), men antar at fjorden rundt utslippspunktet er rektangelformet.

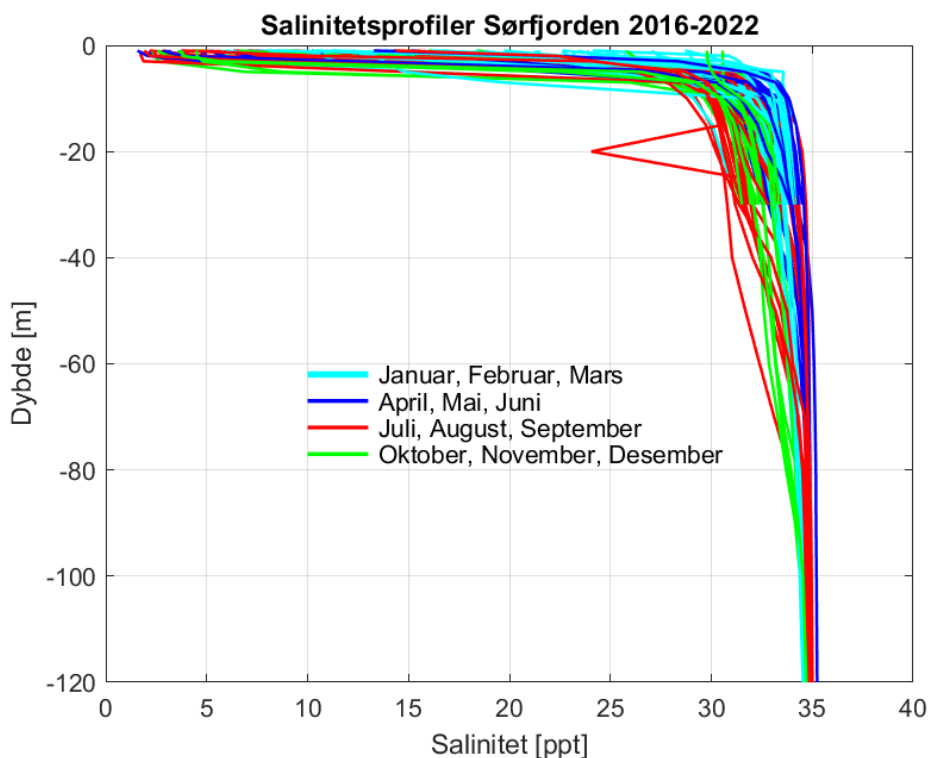


Figur 6-1: Eksempel tredimensjonalt CORMIX resultat

6.2 Input i modellen

Som input i modellen benyttes blant annet mengde tunnelvann og rørdiameter ved utslippet (Tabell 2-3). I modellsimuleringene tar vi utgangspunkt i situasjon ved Langhelleneset, hvor man forventer den høyeste momentane utslippsmengden av tunnelvann (Tabell 2-3, 82,6 l/s). Maksimum vannføring ble oppjustert fra 76 l/s til 82,6 l/s i løpet av prosjektgjennomføringen. Økningen er forholdsvis liten og har liten innvirkning på resultatene. Det er derfor valgt å ikke gjøre simuleringene på nytt. Alle simuleringene med maksimum momentane vannføring er derved kjørt med en utslippsmengde av tunnelvann på 76 l/s. I kapittel 8.1, hvor utslippsdyp vurderes, er det imidlertid tatt høyde for den litt høyere utslippsmengden på 82,6 l/s.

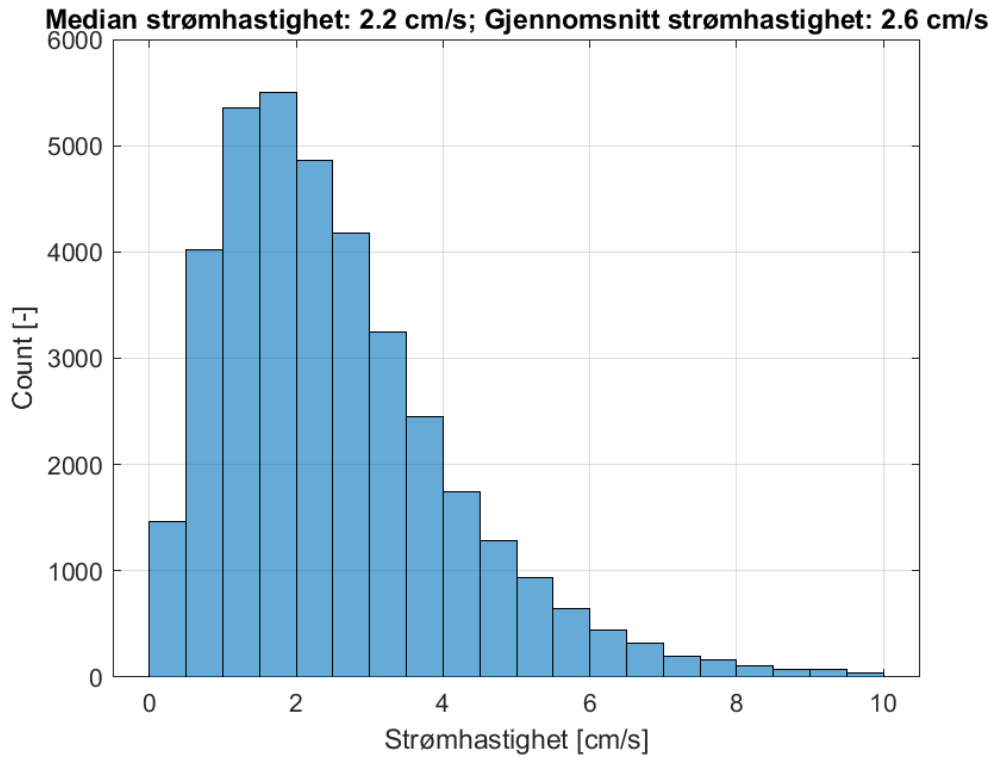
Viktig input i modellen er tettheten av de forskjellige vannlagene i fjordområdet, som varierer med saltholdighet og temperatur. Observerte saltholdighetsprofiler (*Figur 6-2*) og temperatur innerst i Sørfjorden (stasjon Sørfjorden Indre) ble målt fra 2016-2022 (Miljødirektoratet, 2023) og blir brukt i modellen. Gjennomsnittsprøfiler av saltholdighet og temperatur per måned, er regnet ut basert på måledata fra årene 2016 til 2022. Forskjell i densiteten mellom tunnelvann (ferskvann) og omgivelsesvann bestemmer hvordan tunnelvannet / «plumen» beveger seg oppover i vannsøylen og fortynnes. Når densiteten av «plumen» er lik omgivelsesvannet innlagres utslippet og beveger seg ikke lengre vertikalt. Siden densiteten i fjorden er forskjellig over året (f.eks. om våren har vann i topplaget en lavere saltholdig på grunn av mye ferskvannsavrenning fra elvene omkring) trenger man ta høyde for dette med forskjellige simuleringer over året.



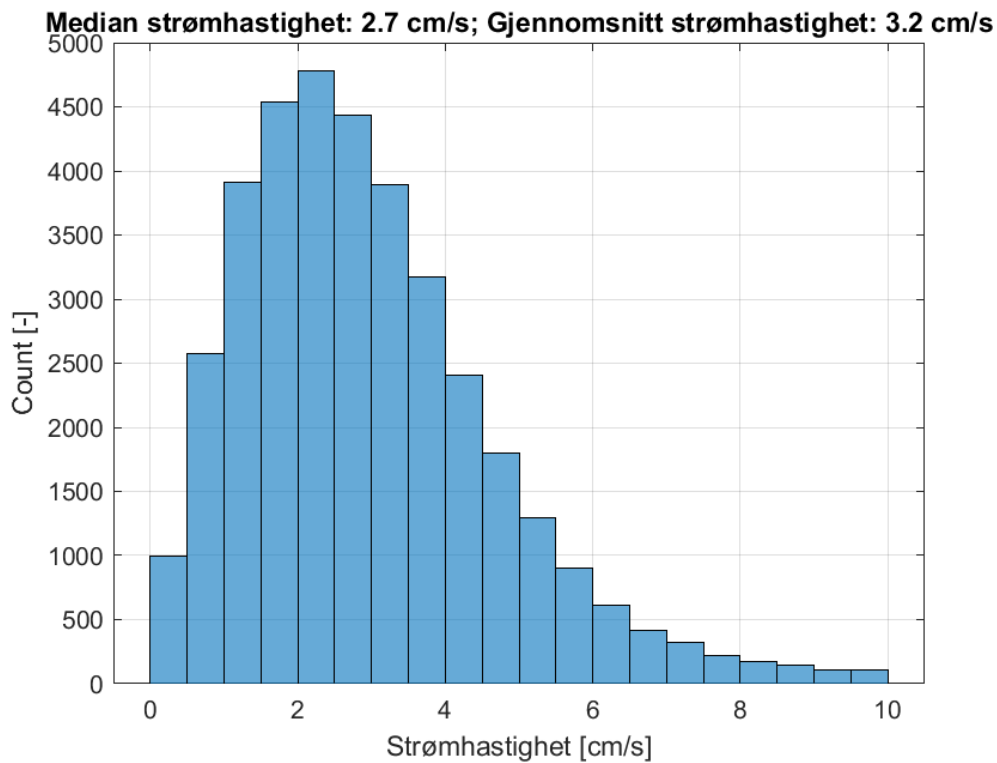
Figur 6-2: Observerte saltholdighetsprofiler over dybden ved stasjon Sørfjorden Indre (ved Langhelleneset). Kilde: (Miljødirektoratet, 2023). Salinitet 35: (vanlig) sjøvann. Salinitet 0: ferskvann.

Strømhastigheten i fjorden benyttes som input i CORMIX modellen. Ved Langhelleneset har FAS utført strømmålinger (Rambøll/SWECO, 2022). *Figur 6-3* og *Figur 6-4* viser histogrammet for strømhastighet på 25 og 78 m dybde, og viser at det er liten forskjell i median hastighet. Mest forekommende strømhastighet er på ca. 2 cm/s. Dette tallet blir brukt i CORMIX modellen og har betydning for hvilken vei «plumen» sprer seg (og videre spredning etter innlagring).

Vi forutsetter at metaller er oppløst i vann, noe som er en konservativ tilnærming. En del metaller binder seg til partikler i utslippet og vil sedimentere.



Figur 6-3: Histogram av observerte strømhastighet ved Langhelleneset på ca. 25m dypde (ca ett-års perioden)



Figur 6-4: Histogram av observerte strømhastighet ved Langhelleneset på ca. 78m dypde (ca ett-års perioden)

6.3 Simulering av innlagring og fortynning ved maksimum momentan vannføring av tunnelvann

Det er gjort simuleringer ved ulike årstider og aktuelle utslippsdyp for å vurdere effekten av dette på forventet innlagringsdyp og fortynningsfaktor. I simuleringene er det benyttet maksimum utslippsmengde, som vil forekomme i slutten av anleggsperioden, fordi ved denne situasjonen vil «plumen» stige mest, og fortynningen være lavest.

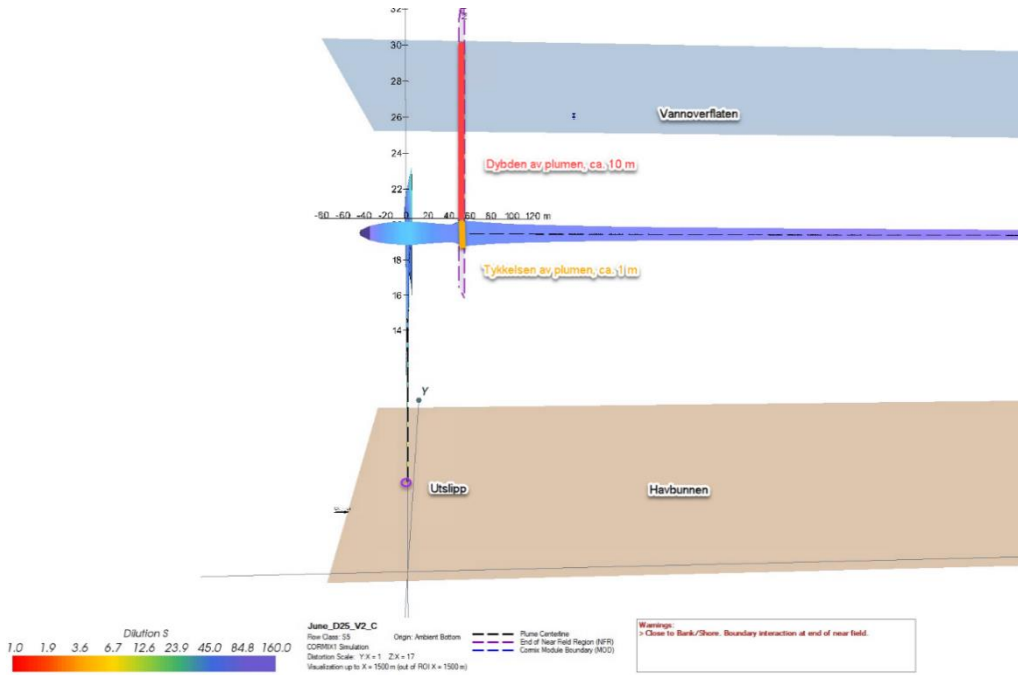
Grunneste terskel mot Nordsjøen er på 120 meter i Hjeltefjorden, for fjordsystemet rundt Osterøy. Det betyr at utslippsdypet for tunnelvannet ikke bør befinne seg under 120 m, fordi vannutskiftningen er sterk begrenset under terskelnivået og et eventuelt utslipp under 120 m kan derfor føre til oppkonsentrering av stoffer.

Resultater av simulering med 25 m utslippsdybde (det antas at utslippet er 5 m over havbunnen) er gitt i *Tabell 6-1* for forskjellige måneder over året. Innlagringsdybden til «plumen» vil være 7-10 m under vannoverflaten, og er derved innenfor fotisk sone. Videre er fortynningsfaktoren 68 til 79 i en avstand av 300 m fra utslippspunkt. Det betyr at konsentrasjonene av ulike stoffer i utslippsvannet vil være 68-79 ganger fortynnet 300 m fra utslippspunkt. Vi ser fra *Tabell 5-1* og *Tabell 5-3* at kravet til fortynning, særlig av næringssalter (bl.a. nitrogen), bør være høyere enn 68-79 ganger for å oppnå tilstandsklasse II (God). Det betyr altså at utslippet av tunnelvann bør legges dypere enn 25 m.

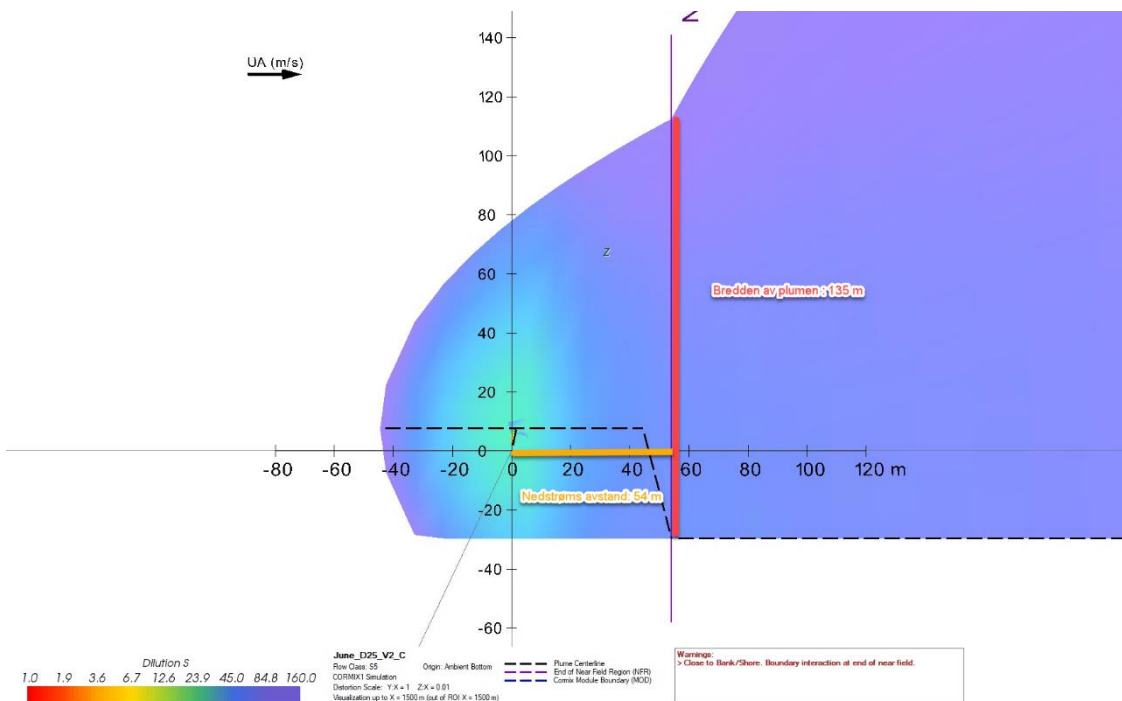
Tabell 6-1: Resultater fra simulering av et utslipp av tunnelvann på 76 l/s ved 25m dyp i Sørfjorden. NFR = "Near Field Region"

Utslipp 76 l/s	Nedstrøms avstand ved NFR	Bredde av plumen ved NFR	Tykkelse av plumen ved NFR	Innlagrings dybde (meter under overflaten)	Fortynnings faktor ved NRF	Fortynnings faktor 100 m nedstrøms av NRF	Fortynnings faktor 300 m nedstrøms utslippspunktet
Mars	50	126	1,1	7	58	70	79
Juni	54	135	1	10	54	64	73
September	50	126	1	9	50	70	68
Desember	52	131	1,1	7	59	70	79

Figur 6-5 og Figur 6-6 viser todimensjonalt resultat fra CORMIX for en beregning med et utslipp på 76 l/s ved 25 m dyp i juni måned. I figurene er "NFR" vist, dette betyr "Near Field Region" (CORMIX, Near-Field Flow Processes, u.d.). Det er et begrep som brukes i CORMIX for å beskrive sonen med den første sterke blandingen.



Figur 6-5: Illustrasjon av den 2-dimensjonale plumen fra Cormix-modellen. X axis er avstand nedstrøms, og z axis er vanndybde. Figuren viser at plumen stiger i vannet og blir ca. 10 m under vannoverflaten. Plumen har en tykkelse på ca. 1 m. Simulering av et utslipp av tunnelvann på 76 l/s ved 25m dyp i Sørfjorden i juni måned. Vanndybden ved utslippet er 30 m, og utslippspunktet antas at være 5 m over havbunnen.



Figur 6-6: Illustrasjon av den 2-dimensjonale plumen fra Cormix-modellen. X axis er avstand nedstrøms, og y axis er bredden av plumen. Figuren viser plumen har en bredde på 135 m. Simulering av et utslipp av tunnelvann på 76 l/s ved 25 m dyp i Sørfjorden i juni måned.

Modellen er kjørt med utslipp av tunnelvann for dybdene 25, 50, 75 og 100 m, for å se på følsomhet for innlagringsdybde og fortynning. Tabell 6-2 viser resultater for en september måned, og Tabell 6-3 viser resultater for en mai måned. Jo dypere utslippsledningen blir lagt, jo dypere skjer innlagringen. Fortynningen av utslippet 300 m fra utslippspunktet blir også større jo dypere man legger utslippet. Dette forklares delvis av modellen som kjører med samme strømhastighet (2 cm/s) for alle scenarier, i tråd med *Figur 6-3* og *Figur 6-4* som viser at både ved 25 og 78m dybde er 2 cm/s den mest forekommende strømhastigheten.

Tabell 6-2: Resultater fra simulering av et utslipp av tunnelvann på 76 l/s ved 25m – 100 m dyp i Sørfjorden i en september måned. NFR = "Near Field Region".

Utslipp 76 l/s i september	Nedstrøms avstand ved NFR	Bredde av plumen ved NFR	Tykkelse av plumen ved NFR	Innlagrings dybde (meter under overflaten)	Fortynnings faktor ved NFR	Fortynningsfaktor 100 m nedstrøms NRF	Fortynningsfaktor 300 m nedstrøms utslippspunktet
Dyp							
25 m	50	126	1	9	50	60	68
50 m	71	186	1	35	79	90	99
75 m	78	209	1,3	58	99	112	122
100 m	80	221	1,5	80	120	134	146

Tabell 6-3: Resultater fra simulering av et utslipp av tunnelvann på 76 l/s ved 25m – 100 m dyp i Sørfjorden i en mai måned. NFR = "Near Field Region".

Utslipp 76 l/s i mai	Nedstrøms avstand ved NFR	Bredde av plumen ved NFR	Tykkelse av plumen ved NFR	Innlagrings dybde (meter under overflaten)	Fortynnings faktor ved NFR	Fortynningsfaktor 100 m nedstrøms NRF	Fortynningsfaktor 300 m nedstrøms utslippspunktet
Dyp							
25 m	49	125	1	8	52	61	70
50 m	74	189	1,5	31	110	126	138
75 m	81	210	2	51	156	176	191
100 m	90	236	2.2	73	190	212	228

Tabell 6-4 viser resultater fra simulering av et utslipp av tunnelvann på 76 l/s på 100 m dyp over hele året. Simuleringen bekrefter at utslippsvannet innlagres i 71-80 m dybde. Fra tabellen ser vi at september måned gir den laveste fortynningen med en faktor på 146 i en avstand 300 m fra utslippspunktet.

En kontrollsimulering med lite ferskvann i topplaget, altså lite sjiktning i vannmassen, er med i beregningene (Tabell 6-4). Denne simulering viser at plumen lagres inn på 77 m dybde, og har en fortynningsfaktor på 174 i en avstand 300 m fra utslippspunktet. Det betyr at en situasjon med lite sjiktning ikke har særlig påvirkning på innlagringsdypet og fortynningen.

Ifølge simuleringene oppnås ikke nødvendig fortynning av næringssalter (bl.a. nitrogen) (Tabell 5-1) 300 m fra utslippspunktet (Tabell 6-4), men siden innlagringen skjer dypt, skjer det utenfor fotisk sone. Næringssaltene er dermed ikke tilgjengelig for algeoppblomstring. Siden det er store mengder næringssalter som slippes ut over et lengre tidsrom må man se nærmere på sekundærtfortynningen videre i fjordsystemet.

Tabell 6-4: Resultater fra simulering av et utslipp av tunnelvann på 76 l/s ved 100 m dyp i Sørfjorden over året. NFR = "Near Field Region".

Utslipp 76 l/s	Nedstrøms avstand ved NFR	Bredde av plumen ved NFR	Tykkelse av plumen ved NFR	Innlagrings dybde (meter under overflaten)	Fortynnings faktor (dilution factor) ved NFR	Fortynningsfaktor 100 m nedstrøms NRF	Fortynningsfaktor 300 m nedstrøms utslippspunktet
Månedlig							
scenario med lite stratifisering i topplaget	86	232	1.7	77	145	161	174
Jan	92	241	2.1	73	189	211	226
Feb	90	236	2.2	73	190	212	228
April	98	251	2.1	72	204	227	242
May	90	236	2.2	73	190	212	228
July	84	236	1.7	78	142	159	172
August	98	252	2.2	71	210	233	248
Sept	80	221	1.5	80	120	134	146
Nov	88	235	1.6	78	139	155	167

6.4 Simulering av innlagring og fortynning ved forskjellige vannføringer for vurdering av utslipp av nitrogenforbindelser

6.4.1 Maksimum vannføring av tunnelvann (gjennomsnitt per uke)

Tabell 6-5 viser innlagring og fortynningsresultater ved de forskjellige utslipplokasjonene ved maksimum gjennomsnittlig vannføring over en uke. I forrige kapittel (6.3) ble det utført simuleringer med maksimum momentan vannføring, som vil være større enn maksimum gjennomsnittlig vannføring per uke. September måned ble brukt som utgangspunkt i simuleringen siden det gir de minste fortynningsfaktorene (Tabell 6-4). Innlagringen skjer dypere når vannføringen av tunnelvann blir redusert (Tabell 6-5) og fortynningsfaktoren blir større. Selv om mengde utslippsvann øker over tid, antas det at konsentrasjonen av de aktuelle stoffene i utslippsvannet (med unntak av nitrogen) er lik over hele byggeperioden. For metaller og øvrige stoffer vil derfor en høyere fortynningsfaktor bety gunstigere (lavere) konsentrasjoner. I motsetning til metaller og øvrige stoffer vil konsentrasjonen av nitrogenforbindelser i tunnelvannet variere. Selv med høyere fortynningsfaktorer vil konsentrasjonene av nitrogen likevel forverres, fordi utslippskonsentrasjon vil være høyere. Kravene til fortynning som ble regnet ut i Tabell 5-3 viser at nitrogen (tot-N) oppfyller kravene, men nitrat og ammonium stort sett ikke oppfyller kravene. Avsnitt 6.4.3 gir en nærmere oppsummering.

Tabell 6-5: Resultater fra simulering av et utslipp av tunnelvann med ulike vannføringer ved ulike utslippspunkt på 100 m dyp i Sørfjorden over året. NFR = "Near Field Region"

Utslipp	Vannføring	Nedstrømsavstand ved NFR	Bredde av plumen ved NFR	Tykkelse av plumen ved NFR	Innlagringsdybde (meter under overflaten)	Fortynningsfaktor (dilution factor) ved NFR	Fortynningsfaktor 100 m nedstrøms NRF	Fortynningsfaktor 300 m nedstrøms utslippspunktet
September								
Gamle Fossen	28 l/s	43	146	1.4	83	152	165	200
Langhelleneset	46,6 l/s	58	177	1.5	82	134	142	168
Trengereid	9,7 l/s	24	74	1.3	87	204	255	338
Romslo	32,2 l/s	48	156	1.4	83	148	160	191

6.4.2 Minimum vannføring av tunnelvann

Det ble også utført simuleringer med en minimums vannføring på 4,6 l/s og med utslipp til 100 m dyp over året (forskjellige måneder)(Tabell 6-6). Fortynningsfaktoren er lavest i september måned og tilsvarer 541 i en avstand av 300 m fra utslippspunktet. For metaller og øvrige stoffer betyr dette høyere fortynning, sammenlignet med maksimum (momentan og gjennomsnitt) vannføring (Tabell 6-4 og Tabell 6-5) og gunstigere (lavere) konsentrasjoner. For næringssalter vil lavere vannmengder medføre høyere konsentrasjoner. Tabell 5-3 viser fortynningskravene for de forskjellige nitrogenforbindelsene ved minimumsvannføring.

Fortynningskravene ligger stort sett høyere enn simulert fortynning viser. I noen måneder vil fortynningen være tilstrekkelig til at nitrogen oppfyller kravene. Nitrat og ammonium oppfyller ikke kravene med et fortynningskrav over 1500. Simuleringene viser klart at en minimumsvannføring vil gi de høyeste nitrogenkonsentrasjonene i nærsone. Avsnitt 6.4.3 gir en nærmere oppsummering.

Tabell 6-6: Resultater fra simulering av et utslipp av tunnelvann på 4,6 l/s ved 100 m dyp i Sørkjorden over året. NFR = "Near Field Region"

Utslipp 76 l/s	Nedstrømsavstand ved NFR	Bredde av plumen ved NFR	Tykkelse av plumen ved NFR	Innlagringsdybde (meter under overflaten)	Fortynningsfaktor (dilution factor) ved NFR	Fortynningsfaktor 100 m nedstrøms NRF	Fortynningsfaktor 300 m nedstrøms utslippspunktet
Månedlig							
scenario med lite stratifisering i topplaget	19	49	1.6	87	347	477	669
Jan	21	55	1.8	85	430	570	776
Feb	21	53	1.9	85	431	576	784
April	21	53	2	85	453	605	816
Mai	21	53	1.9	85	431	576	784
Juli	18	47	1.5	88	310	430	616
August	21	53	2	84	468	623	836
Sept	16	45	1.3	89	257	366	541

Nov	18	47	1.5	88	299	418	604
-----	----	----	-----	----	-----	-----	-----

6.4.3 Sammendrag - konsentrasjonsøkning av nitrogenforbindelser ved utslipp av tunnelvann med forskjellige vannføringer

Tabell 6-7 viser konsentrasjonen av nitrogen i utslippsvannet, fortynningen ved 300 m og konsentrasjonsøkningen ved 300 m. Røde farger i de siste 3 kolonner indikerer at konsentrasjon er høyere enn akseptabelt nivå. I startfasen av prosjektet hvor det kan antas at vannføringen er minst, vil konsentrasjonsøkningen være større enn det som er akseptabelt. For maksimumsvannføring (gjennomsnitt over en uke), vil ammonium/ammoniakk og nitrat fremdeles være over akseptabelt nivå, mens total-nitrogen er innenfor akseptabelt område. Ved maksimum momentane vannføring er bare nitratkonsentrasjon ved Trengereid høyere enn akseptabelt konsentrasjonsnivå.

Det viser seg altså at for store deler av anleggsfasen man må forvente at konsentrasjon av nitrogenforbindelser i vannmassene 300m fra utslippspunktet har høyere konsentrasjoner enn omkringliggende vann. Dette bør ikke være et problem hvis konsentrasjonsøkningen befinner seg under fotisk sone.

Tabell 6-7: Oppsummerende tabell som viser konsentrasjonsøkning av nitrogenforbindelser ved utslipp av tunnelvann med forskjellige vannføringer. Røde farger indikerer at konsentrasjonsøkningen 300m fra utslippspunktet er større enn akseptabel økning (Tabell 5-2).

Sted	Min vannføring (l/s)	Konsentrasjon utslippsvannet (ug/l)				Konsentrasjonsøkning		
		Ammonium-/ammoniakk-N	Nitrat-N	Tot-N	Fortynning september på 300m	Ammonium-/ammoniakk-N	Nitrat-N	Tot-N
Gamle Fossen	5	64444	64444	131111	541	119	119	242
Langhelleneset	5	65217	65217	130435	541	121	121	241
Trengereid	3	70968	70968	138710	541	131	131	256
Romslo	4	72500	72500	147500	541	134	134	273
	Maks vannføring (l/s); gj.snitt uke							
Gamle Fossen	28	10357	10357	21071	200	52	52	105
Langhelleneset	47	6438	6438	12876	168	38	38	77
Trengereid	10	22680	22680	44330	338	67	67	131
Romslo	32	9006	9006	18323	191	47	47	96
	Maks vannføring (l/s); momentan							
Gamle Fossen	69	4185	4185	8514	146	29	29	58
Langhelleneset	83	3632	3632	7264	146	25	25	50
Trengereid	45	4889	4889	9556	146	33	33	65
Romslo	74	3924	3924	7984	146	27	27	55

6.5 Følsomhetsanalyse strømhastighet

Tabell 6-8 viser resultater av en følsomhetsanalyse for forskjellige strømhastigheter. Her vises resultater for situasjonene med de 3 mest forekommende strømhastigheter 1 cm/s, 2 cm/s og 3 cm/s for september måned (måned med den minste fortyningen) og en utslippsdybde på 100 m. Det viser seg at innlagingsdybde og fortyningsfaktor er omtrent like, men at formen på plumen er forskjellig (bredere og tynnere plume ved lavere strømning).

Tabell 6-8: Resultater fra simulering av et utslipp av tunnelvann på 76 l/s ved 100 m dyp i september, med ulike strømningsforhold, 1 cm/s, 2 cm/s og 3 cm/s som er mest forekommende strømhastigheter ifølge Figur 6-4. NFR = "Near Field Region".

Følsomhetsanalyse strømningshastighet September scenario	Nedstrøms avstand ved NFR	Bredde av plumen ved NFR	Tykkelse av plumen ved NFR	Innlagings dybde (meter under overflaten)	Fortynnings faktor ved NFR	Fortynningsfaktor 100 m nedstrøms NFR	Fortynningsfaktor 300 m nedstrøms utslippspunkt et
Hastighet							
1 cm/s	269	604	1	80	140	152	144
2 cm/s	80	221	1.5	80	120	134	146
3 cm/s	44	144	2	80	121	137	151

6.6 Maksimum akseptabel konsentrasjon i utslippsvannet

Ut fra minimum fortyning på 146 i september måned (Tabell 6-4) kan man gjøre en teoretisk beregning av hvor mye konsentrasjonen av aktuelle stoffer i utslippsvannet kan øke for fremdeles å oppnå kravene.

- Maksimum konsentrasjon av suspendert stoff (SS) i tunnelvann er beregnet til 725 mg/l for å kunne opprettholde akseptabel konsentrasjon i resipienten. Med denne konsentrasjon i utslippet oppnås akkurat grenseverdien 300 m fra utslippspunkt, fortyningen er da 146. Her har vi ikke tatt høyde for at partikler lagres inn i et dypere lag enn der kravene gjelder. I denne rapporten er det antatt en konsentrasjon av SS i utslippet av tunnelvann på 400 mg/l () fordi tunnelvannet vil gå gjennom et renseanlegg før det slippes ut.
- Kromkonsentrasjon kan økes til maksimum 87 µg/l og fremdeles ha GOD tilstand, 300 m fra utslippspunktet. I denne rapporten er det antatt en konsentrasjon på 60 µg/l (Tabell 4-1) for høyeste verdi i ukeblandprøver av tunnelvann før utslipp til resipient.
- Nikkelkonsentrasjon kan økes til maksimum 880 µg/l og fremdeles ha GOD tilstand, 300 m fra utslippspunktet. I denne rapporten er det antatt en konsentrasjon på 9 µg/l (Tabell 4-1) for høyeste verdi i ukeblandprøver i tunnelvann før utslipp til resipient.

For de øvrige stoffene ble det ikke beregnet et maksimum for akseptabel konsentrasjon i tunnelvannet fordi det ikke foreligger tilstrekkelig informasjon om hvor lave bakgrunnskonsentrasjonene er i fjorden.

6.7 Beregning av utslippets effekt på vannkvalitet i resipienten

Som vist i Tabell 6-4 er det beregnet at man ved et utslipp på 76 l/sek ved 100 m dyp oppnår en fortynningsfaktor på 146 i september måned, i en avstand på 300 m fra utslippspunktet. Dette er måneden med den laveste fortynningsfaktoren. Denne fortynningsfaktoren er videre benyttet til å beregne konsentrasjonsøkningen for de forskjellige stoffene, 300 m unna utslippspunktet. Dette gjøres ved å dele utslippskonsentrasjon med 146. *Tabell 6-9* viser den beregnede konsentrasjonsøkningen for aktuelle stoffer og parametere. Videre er det prosentvise bidraget av konsentrasjonsøkningen mot grenseverdien beregnet.

Siden vi ikke kunne regne ut nødvendig fortykning for arsen, kadmium, kobber og kvikksølv kan vi se i *Tabell 6-9* hva det relative bidraget blir mot grenseverdien. For kadmium og kvikksølv er det relative bidraget veldig lite (rundt 1 % og 0 %). For arsen er bidraget mellom 1-8 % og for kobber er mellom 1-26 %. Det kan derfor konkluderes med at utslippet av disse metallene gir et relativt lite bidrag til bakgrunnskonsentrasjonen.

Tabell 6-9: Konsentrasjonsøkning av ulike stoffer i utslippet av tunnelvann til Sørkjorden og deres relative bidrag mot grenseverdiene for stoffene 300 m fra utslippspunktet i innlagingsdypet (M608/2016 og Veileder 02:2018). Laveste verdi: årlig gjennomsnitt, ukeblandprøve). Høyeste verdi årlig: årlig gjennomsnitt, ukeblandprøve. Høyeste verdi uke: ukeblandprøve.

	Konsentrasjonsøkning 300m fra utslipp				Grenseverdi GOD- MODERAT	Laveste verdi	Høyeste verdi, (årlig)	Høyeste verdi, (uke)
	Laveste verdi	Høyeste verdi, (årlig)	Høyeste verdi, (uke)					
Suspendert stoff	2,7	2,7	2,7	mg/l	5	55 %	55 %	55 %
Fosfor	0,96	1,57		µg/l	16	6 %	10 %	0 %
Olje								
PAH								
Ev. andre kjemikalier								
Høy pH								
Metaller, oppsluttet/totalkonsentrasjon					Grenseverdi GOD-MODERAT	Bidrag av grenseverdi (%)		
Aluminium	0,3425	5,4795		µg/l				
Arsen	0,0034	0,0206	0,0480	µg/l	0,6 µg/l	1 %	3 %	8 %
Bly	0,0002	0,0069	0,0137	µg/l	1,3 µg/l	0 %	1 %	1 %
Kadmium	0,0003	0,0007	0,0021	µg/l	0,2 µg/l	0 %	0 %	1 %
Kobber	0,0343	0,1507	0,6849	µg/l	2,6 µg/l	1 %	6 %	26 %
Krom	0,0685	0,3425	0,4110	µg/l	3,4 µg/l	2 %	10 %	12 %
Krom (VI)	0,1781	0,1781	0,4110	µg/l	µg/l			
Kvikksølv	0,0000	0,0000	0,0001	µg/l	0,047 µg/l	0 %	0 %	0 %
Nikkel	0,0021	0,0274	0,0616	µg/l	8,6 µg/l	0 %	0 %	1 %
Sink	0,0069	0,1507	0,7877	µg/l	3,4 µg/l	0 %	4 %	23 %

6.8 Konklusjon

- Modellering av forventet tunnelvannsutslipp viser at «plumen» med ferskvann stiger opp fra utslippspunkt og lagres inn på et vanddyb i et tynt lag med en tykkelse på ca. 1-3 m.
- Tunnelvann inneholder flere stoffer, som suspendert stoff, nitrogen fra sprengstoffrester, metaller og olje. Av disse stoffene er det nitrogenforbindelsene som krever den største fortykning, fra ca. 100-5000 ganger. En slik fortykning oppnås ikke, det gjelder særlig i startfasen av prosjektet når mengden innlekkasjevann ikke er så stor. Selv om man leder utslippet til 100 m dyp oppnås ikke nødvendig fortykning. Det anbefales derfor at tunnelvann innlagres dypere enn 20-30 meter, både for å unngå innlagring i samme dyp hvor det blir utslipp av sprengstein, og for å unngå økt næringsinnhold og risiko for algeoppblomstring i de øvre vannlagene. Så lenge det nitrogenholdige vannet innlagres på dypt vann kan man akseptere en høyere konsentrasjon av næringssalter.
- Modellering ved bruk av CORMIX viser at hvis utslippet føres til 25 m dyp vil utslippet innlagres i fotisk sone i øvre 10 m, noe som ikke er ønskelig.
- Fortyningen av metaller i utslippet er stort sett tilfredsstillende.
- Utslipp av forventet partikkelkonsentrasjon har et fortykningskrav på 80 (*Tabell 5-1*). Hvis man legger utslippet dypere eller lik 50 m oppnås en fortykning større enn 80 ved en avstand på 300 meter fra utslippspunktet. Dermed blir konsentrasjon av partikler fra utslipp av tunnelvann under grenseverdien på 7 mg/l i gyteperioden for fisk (2 mg/l bakgrunnskonsentrasjon + tillat økning på 5 mg/l).
- I dette kapittel er det kun gjort en vurdering av effekt av utslipp av tunnelvann. Påvirkning fra deponering av sprengstein i sjø gjennom bergsjaktene, av de samme parameterne, er ikke vurdert her. Det er imidlertid vurdert som nødvendig å se på samlet belastning for næringssalter fra utslipp fra både tunnelvann og deponering av sprengstein (Kapittel 7).

Anbefalt utslippsdybde vurderes nærmere i kapittel 8.

7 SEKUNDÆRFORTYNNING I FJORDEN

7.1 Innledning

Total nitrogenbelastning til vannet i Sørfjorden fra FAS-prosjektet, er forventet å bli ca. 620 tonn over ca. 4 år. Anslaget er basert blant annet på at totalmengden sprengstein er ca. 7,5 mill. fm³ (fastkubikkmeter), hvorav 94 % er fra tunnel, et spesifikt sprengstofforbruk på 2,1 kg/fm³, og 10–15 % uomsatt sprengstoff ved sprengning i tunnel.

Nitrogen slippes stort sett ut til fjorden ved steindumping gjennom bergsjaktene, og ved utslipp av tunnelvann som består av ferskvann. Forventningen er at 50–70 % av nitrogenet på fersk sprengstein slippes ut gjennom steindumping, og at det vaskes raskt fra steinen til vannmassene (Vikan, 2013). Det resterende av nitrogenet følger tunnelvannet som kan føres ned på dypt vann, slik at utslippet ikke når fotisk sone. Utløpet av bergsjaktene er derimot omtrent ved 25-30 m vanddyp.

En del av steinmassene skal fraktes til knuseverk og landdeponier. Siden disse ligger i nedbørsfeltet til Sørfjorden er det forventet at mesteparten av nitrogenet lekker ut til fjorden med muligens noe forsinkelse. I vurderingene er det forutsatt at alt nitrogen fra steinsprenging lekker ut til Sørfjorden. Dette er mest sannsynlig konservativt. Dagens tilstand for total-nitrogen i de øvre vannlag (0 m) er god, og nitrat er i moderat tilstand (Tabell 3-3). Overgang til en dårligere tilstand bør unngås. Det er derfor nødvendig å se nærmere på sekundærfortynningen videre i fjordsystemet.

7.2 Sekundærfortynning

7.2.1 Boxmodell

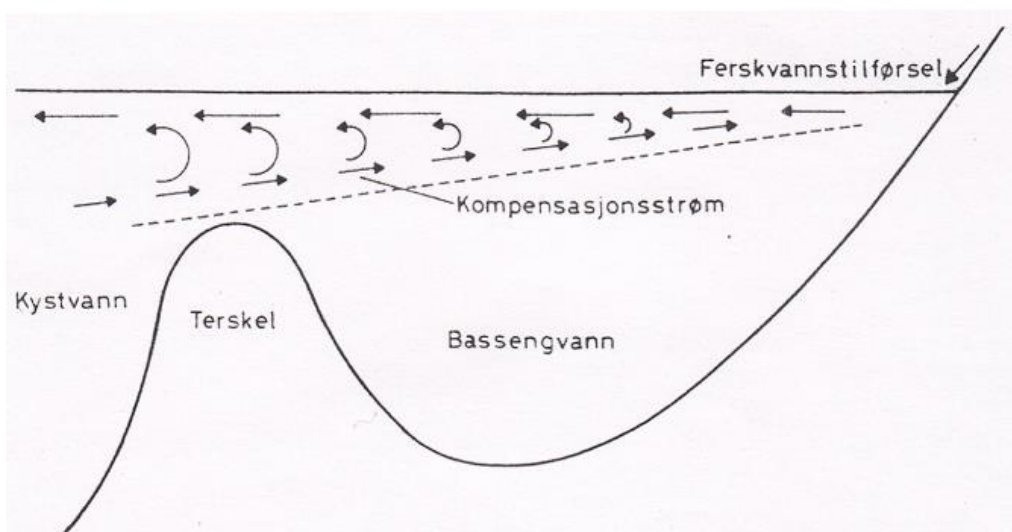
Tabell 7-1 viser en enkel (konservativ) tilnærming for sekundærfortynning og spredning over lang tid, uten å ta høyde for innlagringsdybde. I denne tilnærmingen deles den totale nitrogentilførselen (620 tonn) med totalt vannvolum i fjorden (fra Indre Arna til Stanneshella, som ligger litt nord for Stanghelle). Denne 'boxmodell'-tilnærmingen tar ikke hensyn til vannutskiftning i fjordsystemet, noe som gjør tilnærmingen konservativ. Modellen viser at for å opprettholde god miljøtilstand for nitrogen må utslippet blandes inn over minimum 75 m lagtykkelse av overliggende vannmasser. Det betyr at vi må se nærmere på en mer realistisk situasjon, hvor vi inkluderer vannutskiftning, for å kunne vurdere om denne er tilstrekkelig til å transportere nitrogenet ut av fjorden.

Tabell 7-1: Utslipp fra tunneldriving fordelt over vannmasser med ulik lagtykkelse, uten å ta hensyn til vannutskiftingning i Sørfjorden, og hvilke konsentrasjoner vannmassene vil kunne få av total-nitrogen.

Lagtykkelse innblanding	Vannvolum 10^6 m^3	Konsentrasjons økning	Bakgrunns-konsentrasjon Tot-N	Total konsentrasjon Tot-N	Tilstand
2m	96	6449 $\mu\text{g/l}$	145 $\mu\text{g/l}$	6549 $\mu\text{g/l}$	Svært dårlig
10m	480	1289 $\mu\text{g/l}$	145 $\mu\text{g/l}$	1434 $\mu\text{g/l}$	Svært dårlig
25m	1201	515 $\mu\text{g/l}$	145 $\mu\text{g/l}$	660 $\mu\text{g/l}$	Dårlig
50m	2403	257 $\mu\text{g/l}$	145 $\mu\text{g/l}$	402 $\mu\text{g/l}$	Moderat
75m	3605	171 $\mu\text{g/l}$	145 $\mu\text{g/l}$	316 $\mu\text{g/l}$	God
100m	7210	128 $\mu\text{g/l}$	145 $\mu\text{g/l}$	273 $\mu\text{g/l}$	God

7.2.2 Beregning med vannutskiftingning

Sørfjorden mottar en mengde ferskvann fra større og mindre elver og direkte avrenning fra terreng. En annen og mer realistisk beregning man kan gjøre er derfor å se på ferskvannsavrenningen til fjordsystemet. Ferskvannet utgjør gjennomsnittlig rundt 150 m^3/s av topplaget. Under topplaget er det en motsatt rettet kompensasjonsstrømning (Figur 7-1). Strømningsmålinger rundt Langhelle viser at på ca. 80 m dybde (Figur 11-1) er det fremdeles en god del strøm som går innover fjorden (mot Stanghelle).



Figur 7-1: Illustrasjon av estuarin sirkulasjon i en fjord. Ferskvannsstrømmen river med seg noe av det underliggende vannet. For å erstatte det vannet som blir revet med oppstår en kompensasjonsstrøm

Et nitrogenutslipp på 620 tonn over 4 år gir en gjennomsnittlig utslippsmengde på 4,9 g nitrogen per sekund (Tabell 7-2). Denne mengden vil over lang tid og avstand blandes med omkringliggende vann (150 m³/s). Det betyr at vannet får en konsentrasjonsøkning på 33 µg/l (4,9 g / 150 m³). Med en bakgrunnskonsentrasjon på 137 µg/l blir den totale konsentrasjonen 170 µg/l. Dette betyr at konsentrasjon fremdeles er innenfor tilstandsklasse 'god' (Tabell 7-2).

Under tørre perioder f.eks. med en avrenning på 30 m³/s blir økningen 165 µg/l, som gir en totalkonsentrasjon på 300 µg/l (Tabell 7-2). Denne konsentrasjonen av totalnitrogen ligger nær øvre grense for god tilstand (330 µg/l). Det kan bety at det finnes lokasjoner som lokalt og midlertidig vil kunne få konsentrasjoner av totalnitrogen som tilsvarer moderat tilstand.

Man kan gjøre samme beregningen for nitrat. Total mengde nitrat som slippes ut er forventet til å bli 341 tonn over 4 år. Dette gir en utslipp på 2,7 g/s i gjennomsnitt (Tabell 7-2). Dagens tilstandsklasse er moderat med en målt konsentrasjon på 35,6 µg/l. Endelige konsentrasjon med 150 m³/s ferskvannsavrenning blir 54 µg/l. Med en ferskvannsavrenning på 30 m³/s blir konsentrasjon 126 µg/l, som betyr at tilstanden er endret til tilstandsklasse IV (dårlig).

Nitrogenforbindelser forbrukes av organismer i vannet. Dette er ikke tatt hensyn til i beregningene. Betragtningen her kan derfor anses å være konservative.

Tabell 7-2: Konsentrasjon av nitrogen og nitrat som følge av sekundærfortynning i Sørfjorden i overflatelaget. Fargene i cellene gjenspeiler tilstandsklassene i hht. (Direktoratsgruppen vanndirektivet, 2018)

	Nitrogen	Nitrat
Total utslippsmengde fra FAS (tonn)	620	341
Utslippsmengde per sekund	4,9 g/s	2,7 g/s
Bakgrunnskonsentrasjon (Tabell 3-3)	137 µg/l (god)	35,6 µg/l (moderat)
Grenseverdi	330 µg/l	65 µg/l
Totale konsentrasjoner med 150 m ³ /s ferskvannsavrenning	170 µg/l (god)	54 µg/l (moderat)
Totale konsentrasjoner med 30 m ³ /s ferskvannsavrenning	300 µg/l (god)	126 µg/l (dårlig)

7.3 Usikkerheter

Vi har sett i kapittel 6 hvordan utslipp av tunnelvann sprer seg og lagres inn i fjordvannet. Det er foreløpig ikke gjort vurderinger av hvordan nitrogen/nitrat sprer

seg fra steindeponering gjennom bergsjaktene og videre i vannet. Det er spesielt viktig å få klarhet i på hvilket vanddyb nitrogen innlagres etter steindeponering med tanke på miljøpåvirkning i forhold til fotisk sone. FAS har utført forsøk med deponering av stein via bergsjakt i lab skala. Undersøkelsene viser at ved deponering oppstår et «sug», en nedoverrettet strøm, som drar med seg mye av finstoffet til bunns. Det er imidlertid usikkert hvordan stoffer løst i vann, som nitrogenforbindelser, vil oppføre seg ved en slik deponering, men den nedoverrettede strømmen vil sannsynligvis også dra med seg noe av oppløste stoffer.

Bergsjaktene munner ut på ca. 25 m vanddyb, mens sjiktningen mellom brakkvann og saltvann befinner seg på omtrent 5 m dybde og virker som en barriere. Denne barrieren er viktig for å hindre at stoffer (bl.a. nitrogen) fra dypere vannlag kommer opp til overflatevannet. Steindumping medfører turbulens og sug i vannet. Hvilket omfang og hvor høyt opp turbulensen vil nå i vannsøylen, og i hvilken grad sjiktningen vil bli påvirket, er usikkert. Vurderinger knyttet til disse forholdene mangler per dags dato.

7.4 Konklusjon

Modellering og vurdering av utslipp av tunnelvann tilsier at nitrogen- og nitratutslippet til fjorden sannsynligvis ikke vil medføre en forringelse av vannkvaliteten i hele fjordsystemet, selv etter utslipp over lang tid. Lokalt og midlertidig kan det imidlertid ikke utelukkes at nitrogen- og nitratkonsentrasjon går over til moderat/dårlig tilstand på grunn av usikkerhetene knyttet til spredningen i fjorden. Det anbefales derfor detaljert overvåking og eventuelt iverksetting av tiltak hvis nitrogen- og nitratbelastning blir for stor. Forslag til overvåking og mulige tiltak blir behandlet i neste kapittel.

8 ANBEFALTE UTSLIPPSDYP

8.1 Utslippsdybde

Anbefalingene om utslippsdyp av tunnelvann er basert på vurderingene i foregående kapitler. Utfordringen ligger særlig i utslippet av næringssalter. Dagens tilstandsklasse for nitrat i fjorden er allerede i moderat tilstand i deler av året.

Det er en øvre og nedre begrensing på utslippsdyp. Øvre begrensing er gitt av fotisk sone. Utslipet ønskes ikke innlagret høyere enn opp mot ca. 30 m dybde. Nedre begrensing er gitt av terskeldybden i fjorden som er på 120 m.

Det anbefales å legge tunnelvannsutslipp på 100 m ved Langhelleneset. Et utslipp på 100 m dyp ved Langhelleneset vil innlagres inn på ca. 71-80 m dybde (over året) i tilfeller med maksimum momentan vannføring. Dette dypet er godt under fotisk sone. Det er flere grunner til at det anbefales å legge utslippene såpass dypt:

- I tillegg til utslipp av tunnelvann vil det slippes ut store mengder næringssalter med tunnelsteinen via bergsjaktene på 25-30 m dybde (steindeponering). Det er usikkert hvor disse stoffene innlagres i vannsøylen, men mest sannsynlig vaskes næringssaltene raskt av i kontakt med vann. En andel vil sannsynligvis suges nedover mot dypt vann sammen med sprengsteinen, og en andel vil rives av plumen og i beste fall innlagres ved 25-30 m dyp.
- Fjorden mottar utslipp av næringssalter fra oppdrettsanlegg (ned til ca. 35 m dybde) og fra kloakkrenseanlegg. Garnes kloakkrenseanlegg i Sørfjorden har utslippspunkt på 45 m dybde. For å unngå oppkonsentrering av næringssalter bør man helst unngå at de ulike kildene til næringssalter (tunnelvann, deponering av tunnelstein, oppdrettsanlegg og kloakkrenseanlegg) innlagres i samme dyp. Det anbefales derfor å legge utslippet av tunnelvann dypere enn de øvrige kildene.
- Ved å legge utslippspunkt på 100 m oppnår man en større buffer. Siden utslippet av tunnelvann vil ligge over terskelnivået, vil en del av vannmassen som blir påvirket av utslippet gradvis skiftet ut mot utenforliggende sjøområder, og en andel vil bli blandet med det øvre vannlaget i fjorden, over lang tid. Da vil fortynningen være så stor at det anses som akseptabelt.
- Det er en relativt liten tilleggs kostnad ved å legge tunnelvannsutslipp på dypt vann, og ved det oppnå en større sikkerhet. Det er alt vesentlig meterprisen på utslippsledningen samt loddkostnaden som utgjør merkostnaden. Siden det er relativt bratt rundt utslippspunktene er det snakk om noen titalls meter ekstra ledning, fra 50 til 100 m dyp.
- Maksimum utslippsmengde ved Langhelleneset har i løpet av prosjektet blitt justert opp fra 76 l/s til 82,6 l/s. Økningen gir små utslag i modelleringen, som derfor er utført med 76 l/s. En utslippsmengde på 82,6 l/s vil føre til at innlagringen skjer noe høyere i vannmassen. Anbefalt utslippsdyp på 100 m sikrer god buffer i innlagringsdyp ved variasjoner i utslippsmengde.
- Per dags dato er det fremdeles usikkerhet knyttet til innlekkasjekrav til transporttunnelene ved Langhelleneset og Gamle Fossen. Det er derfor mulig at innlekkasjen blir noen l/s høyere enn regnet med i denne rapporten. Som nevnt over er det god buffer i et utslippsdyp på 100 m. Selv med et større

utslipp av tunnelvann vil innlagringen fortsatt være i dypvannet, med god margin til fotisk sone.

Det anbefales å legge utslippet av tunnelvann på 100 m ved Romslo, Gamle Fossen og Trengereid.

8.2 Avstand til bergsjaktene

Lokasjonen av utslippspunktene for tunnelvann anbefales å være minimum hundre meter fra bergsjaktene og områdene som skal benyttes for deponering av sprengstein. Dette for å unngå forstyrning fra steindumping.

9 OVERVÅKNING OG MULIGE TILTAK

9.1 Overvåkning

Ved oppstart av tunneldriving og deponering av tunnelstein bør det gjøres en «intensiv» overvåking, med flere stasjoner og hyppig prøvetaking, i tillegg til ordinær utslippskontroll for rensset tunnelvann og resipientovervåking i fjorden. Nitrogen- og nitratkonsentrasjon (næringssalter generelt) og metaller bør analyseres i vannprøver som tas regelmessig horisontalt og vertikalt rundt utslippspunktene i sjø, som beskrevet i miljøovervåkingsprogrammet for vannresipienter (COWI, 2023b) . Analysene vil verifisere modellresultatene og øvrige vurderinger. Overvåkingen vil samle erfaring fra forberedende arbeider og danne grunnlag for eventuelle supplerende tiltak i hovedprosjektet.

9.2 Tiltak

Modellering tilsier at utslipp av tunnelvann ved 100 m dyp ikke vil føre til forhøyede nitrogenkonsentrasjoner i fotisk sone. Utslipppet som kommer via deponering av stein via bergsjakter som munner ut på 25-30 m dyp, vil også inneholde store mengder nitrogen. Siden utslippet er stort og relativt høyt i vannmassen, er det større risiko for at denne delen av utslippet kan føre til forhøyede konsentrasjoner av nitrogen i fotisk sone, enn utslippet av tunnelvann. Det er derfor utslippet via bergsjaktene hvor det eventuelt kan bli nødvendig med tiltak. Følgende tiltak kan vurderes:

- Eventuell overføring av en større andel av nitrogenrest fra tunnelmassene til tunnelvannet som har utslipp på dypt vann, vil være gunstig, men er per nå vurdert som vanskelig å gjennomføre i praksis. Dette tiltaket vil kreve et eget opplegg for spyling av tunnelsteinsmassene, tid til avrenning og overføring av spylevannet til tunnelvannsanlegget. Et eventuelt økt ferskvannsutslipp vil også kunne føre til at ferskvannsplumen innlagres høyere i vannsøylen enn beregnet i foreliggende notat, men en ny simulering med CORMIX vil kunne belyse dette, dersom det skulle bli aktuelt.
 - Det pågår utvikling og uttesting av nitrogenfritt sprengstoff. Eventuell bruk av dette må vurderes spesielt.
 - Dersom man vil oppnå raskere fortykning av tunnelvannsutslippet kan utslippsrøret påmonteres en diffusor.
-

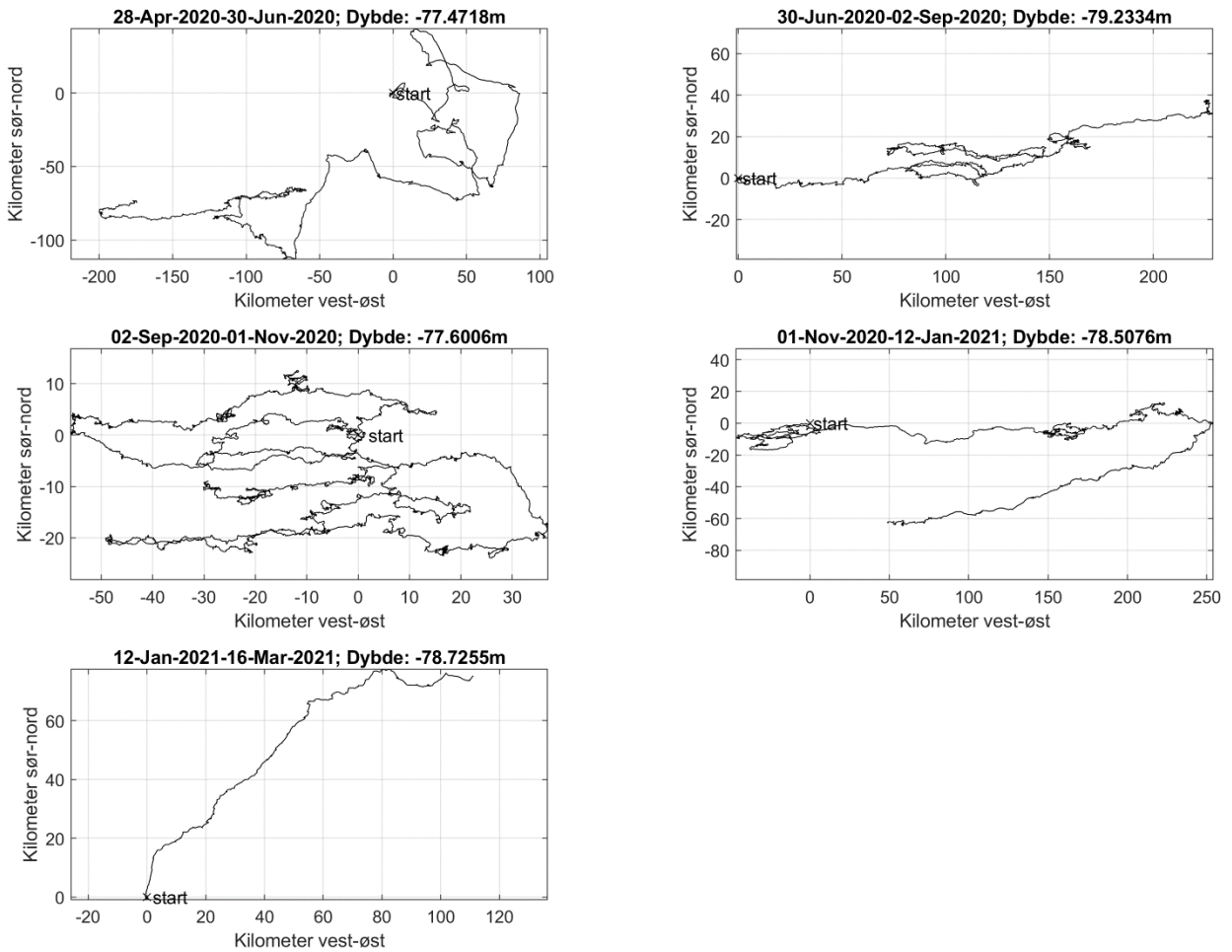
10 REFERANSER

- Berdalet, E. M. (2017). Harmful Algal Blooms in Fjords, Coastal Embayments, and Stratified Systems. Recent Progress and Future Research. *Oceanography Vol 30 no 1* (s. 12). SPECIAL ISSUE ON INTERNATIONAL COOPERATION IN HARMFUL ALGAL BLOOM SCIENCE2003.
- CORMIX. (u.d.). Hentet fra About CORMIX: <http://www.cormix.info/aboutcormix.php>
- CORMIX. (u.d.). *Near-Field Flow Processes*. Hentet fra <http://www.cormix.info/picgal/nearfield.php>
- COWI. (2020). *1-års kontroll etter tiltak mot forurenset sjøbunn i Puddefjorden*.
- COWI. (2023). *Fellesprosjektet Arna - Stanghelle, forberedende arbeider. Forundersøkelse av miljøtilstand i sjøresipienter. FAS-01-A-00066*.
- COWI. (2023a). *Miljøovervåkning Kollevågen 2022-2023*.
- COWI. (2023b). *Fellesprosjektet Arna - Stanghelle, forberedende arbeider. Miljøovervåkingsprogram for vannresipienter. FAS-01-Q-00020*.
- COWI. (2023c). *Fellesprosjektet Arna-Stanghelle. Dimensjonering av utslippsledning. FAS-01-G-00052 (under arbeid)*.
- COWI. (2023d). *Fellesprosjektet Arna-Stanghelle, forberedende arbeider. Geokjemisk undersøkelse. FAS-01-A-00105 (under utarbeiding)*.
- Dam Engineering. (2017). *Simulation of the spreading of fine sediment in Sørfjorden*.
- Dam, G. (2022). *Spredningsmodellering finstoff Sørfjorden, E16/Vossobanen Arne-Stanghella*. Bergen: Asplan Viak.
- Direktoratsgruppen vanddirektivet. (2018). *Veileder 02:2018. Klassifisering av miljøtilstand i vann*. www.vannportalen.no, versjon 15.10.2020. 227 s.
- Direktoratsgruppen, V. (2018). *Veileder 02:2018 Klassifisering av miljøtilstand i vann*.
- Kartverket. (2023, mai). *Kartverket*. Hentet fra <http://sehavnivå.no>
- Miljødirektoratet. (2019a). *Faktaark for NIN5K1910073064*. <https://nin-faktaark.miljodirektoratet.no/kartleggingsenheter/?id=NIN5K1910073064>.
- Miljødirektoratet. (2019b). *Vannovervåking: Identifisering av nærstasjoner*. Faktaark M-1288 2019. 4 s.
- Miljødirektoratet. (2020). *Veileder M-608/2016 Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota - revidert 30.10.2020*. Miljødirektoratet.
- Miljødirektoratet. (2023, mai). *Salinitets og temperaturprofiler Sørfjorden innerst*. Hentet fra Vannmiljø: <https://vannmiljo.miljodirektoratet.no/>
- Miljødirektoratet. (2023, 10 20). *Vann-nett*. Hentet fra <https://vann-nett.no/portal/#/waterbody/0261020100-2-C>
- Norsk forening for fjellsprenningsteknikk. (2009). *Behandling og utslipp av driftsvann fra tunnelanlegg*. Teknisk rapport 09. 36 s.
- Rambøll/SWECO. (2022). *Strømmålinger i Sørfjorden*.
- Ranneklev, S., Garmo, Ø., Petersen, K., & Vikan, H. (2017). *Undersøkelse av tunnelvann, slam og uomsatt sprengstoff under drivingen av Espatunnelen på E16*. Vann 03, 291-305.
- Ranneklev, S., Jensen, T., Solheim, A., Haande, S., Meland, S., Vikan, H., . . . Kronvall, K. (2016). *Vannforekomsters sårbarhet for avrenningsvann fra vei under anleggs- og driftsfasen*. Statens vegvesens rapport nr. 597. 51 s.
- Roseth, R., Sverdrup, E., & Kozera, R. (2024). *Nitrogen i tunneldrivevann – en pilotstudie av rensfilter*. NIBIO rapport 8 2024. 40 s.
- Rådgivende Biologer. (2017). *Ny E16 og jernbane Arne-Stanghelle – Sørfjorden og Veafjorden; En morfologisk beskrivelse*.
- Statsforvalteren. (2023). *Løype etter forureiningslova til deponering av overskotsmassar i Sørfjorden og Veafjorden frå bygging av Fellesprosjektet*

Arna-Stanghelle (FAS) for Statens vegvesen og Bane NOR. Bergen og Vaksdal kommunar.

Vikan, H. (2013). *Avrenning av ammoniumnitrat fra uomsatt sprengstoff til vann – Giftvirkninger i resipient og renseløsninger.* Vann 03 2013, 333-340.

11 BILAG A: PROGRESSIV VEKTORPLOT



Figur 11-1: Progressiv vektorplot for strømmålinger for stasjon Stanghelle for 5 perioder. Dybde på 77-78m. Figurene viser veien en vannpartikkel tar fra startpunkt (koordinat 0,0) gjennom målingsperioden. Praktisk viser figuren hva den dominerende strømningsretning er.