
RAPPORT

Bistand til veiledning og utdyping av forundersøkelse akvakulturanlegg i sjø

OPPDRAAGSGIVER

Miljødirektoratet

M-2794

EMNE

Deloppgave 2 - Strømmålinger

DATO / REVISJON: 3. september 2021 / 0

DOKUMENTKODE: 10225103-RIMT-RAP-001



Multiconsult

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Hvis kunden i samsvar med oppdragsavtalen gir tredjepart tilgang til rapporten, har ikke tredjepart andre eller større rettigheter enn det han kan utlede fra kunden. Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

RAPPORT

OPPDAG	Bistand til veiledning og utdyping av forundersøkelse akvakulturanlegg i sjø	DOKUMENTKODE	10225103-RIMT-RAP-001
EMNE	Deloppgave 2 - Strømmålinger	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDAGSGIVER	Miljødirektoratet	OPPDAGSLEDER	Juliane Borge
KONTAKTPERSON	Hilde Skarra	UTARBEIDET AV	Juliane Borge/Martin Arntsen
		ANSVARLIG ENHET	10235042 Marint miljø og havbruk Nord

SAMMENDRAG

Miljødirektoratet og Fiskeridirektoratet har foreslått en revidering av forurensningsregelverket for akvakultur i sjø, som vil innebære at forundersøkelsen beskrevet i NS9410:2016 forskriftsfestes i Laksetildelingsforskriften. Som grunnlag for å kunne gi ytterligere veiledning rundt forundersøkelsen, etterspør Miljødirektoratet i anskaffelsen «Bistand til veiledning og utdyping av forundersøkelse akvakulturanlegg i sjø» (saksnummer 2021/3012) ekstern bistand på områdene 1) Kartgrunnlag, og 2) Strømundersøkelser.

Denne rapporten besvarer «Deloppgave 2 strømmålinger» og omfatter:

- analyser av målinger og modelldata for å vurdere nødvendig varighet av strømmålinger for bruk i forundersøkelsen,
- en litteraturstudie av representativitet av målinger utført før etablering av akvakulturanlegg for partikkelspredning,
- diskusjoner rundt andre krav til strømmålingene.

Rapportens to hovedkonklusjoner er som følger:

- Et oppdrettsanlegg vil modifisere strømbildet i området der det er anlagt. Strømmålinger utført i forkant av utplasseringen er følgelig ikke fullt ut dekkende for situasjonen etter utplasseringen. Dette gjelder særlig strøm i vannutskiftingsdypet. Det modifiserte strømbildet vil imidlertid være komplekst. En dekkende beskrivelse av dette strømbildet gjennom målinger vil kreve et urealistisk antall målepunkter. Alle endringer i anlegget (bytte av nøter, endring av orientering, montering av luseskjørt, endring av antall nøter med fisk,...) vil også endre på strømbildet. Multiconsult vurderer det derfor ikke som hensiktsmessig å utføre ytterligere strømundersøkelser etter etablering. En høyoppløst strømmodell som tar hensyn til effekten av anlegget vurderes for eksempel til å ha større nytte i forhold til å fastslå hvor spredning av partikler og næringssalter fra driften av anlegget vil forekomme.
- Å utvide lengden på strømmålingsperioden utover en måned gir generelt forholdsvis lite ekstra informasjon til forundersøkelsens formål. Det er andre faktorer knyttet til beskrivelsen av strømbildet på lokaliteten som introduserer større usikkerheter enn en begrenset økning i måleperiodens lengde. Sett i sammenheng med disse andre usikkerhetene og forundersøkelsens formål, vurderer Multiconsult det slik at strømmålinger over en måned generelt er tilstrekkelig. Dersom vurderingene som gjøres basert på målingene er spesielt sensitive til de undersøkte parameterne, bør det tas hensyn til usikkerhetene som framkommer i denne rapporten og lengre målinger bør vurderes.

0	03.09.2021	Første revisjon	JB/MA	EH	EH
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Bakgrunn	5
1.1	Oppgave	5
1.2	Regelverk - Forundersøkelse akvakulturanlegg i sjø	5
1.3	Strømmålinger i forbindelse med forundersøkelsen	6
2	Spørsmål A Representativitet av målinger før etablering	8
3	Spørsmål B Varighet av strømmålinger	10
3.1	Datagrunnlag	10
3.2	Metode	11
3.3	Resultat	13
3.3.1	Spredning i månedsmålinger	13
3.3.2	Årssyklus	15
3.3.3	Trefferikhet etter 1-12 måneder	17
3.4	Vurdering	20
4	Spørsmål C-F	23
4.1	Kostnader ved lengre målinger	23
4.2	Krav til eldre målinger	23
4.3	Plassering av strømmålere	24
4.4	Forskjellig måleteknikk	24
5	Diskusjon	26
6	Konklusjon	28
7	Referanser	30

1 Bakgrunn

1.1 Oppgave

Miljødirektoratet og Fiskeridirektoratet har foreslått en revidering av forurensningsregelverket for akvakultur i sjø, som vil innebære at forundersøkelsen beskrevet i NS9410:2016 forskriftsfestes i Laksetildelingsforskriften. Som grunnlag for å kunne gi ytterligere veiledning rundt forundersøkelsen, etterspør Miljødirektoratet i anskaffelsen «Bistand til veiledning og utdyping av forundersøkelse akvakulturanlegg i sjø» (saksnummer 2021/3012) ekstern bistand på områdene 1) Kartgrunnlag, og 2) Strømundersøkelser. Multiconsult tilbyr bistand på «Deloppgave 2 strømmålinger». Under denne deloppgaven ønsker Miljødirektoratet følgende problemstillinger nærmere belyst:

- A. I hvor stor grad vil en strømundersøkelse tatt i forkant av etablering av et akvakulturanlegg, være representativ for hvor partikler og næringssalter spres fra akvakulturanlegget. Herunder også endringer i strøm som følge av at et anlegg er etablert med ekstraustyr f.eks. luseskjørt, og i hvilke dyp eventuelle endringer vil gjøre seg gjeldende. Bør det utføres ytterligere strømundersøkelser etter etablering for å fastslå hvor spredning av partikler og næringssalter fra driften av anlegget vil forekomme? Hvor, hvor lenge og ved hvilke dyp, bør disse målingene gjøres?
- B. Gitt at strømmålinger på 4 uker ikke er tilstrekkelig for å gi et representativt bilde på strømforholdene på lokaliteten, hva vil en tilstrekkelig måleperiode være for alle dyp? Herunder også vurdering av sikkerhetsfaktor (NS9415 på høring har foreslått å endre fra minimum 1 mnd til 3 mnd (Basert på strømmålinger på 1-20 meters dyp)
- C. Hva vil kostnader ved strømmålinger utover 4 uker være?
- D. Vil eldre strømundersøkelser i samme område hvor man ønsker å etablere et akvakulturanlegg kunne gi et representativt bilde på søknadstidspunktet (se over i forhold til økning fra 1-3 mnd ift NS9415), eller vil strømundersøkelser kunne «gå ut på dato»?
- E. Hvor bør strømmåler plasseres i forhold til omsøkt lokalitet? F. eks ved jevn ensrettet strøm og ved skiftende el. svak strøm.
- F. Vurdering av fordeler og ulemper med ulike måleinstrumenter. Finnes det begrensninger i dagens måleinstrumenter som hindrer måling på større dyp? Evt. hva vil ekstrakostnadene være?

1.2 Regelverk - Forundersøkelse akvakulturanlegg i sjø

Laksetildelingsforskriften gir i dag krav til at søknad om klarering av lokalitet skal inneholde opplysning om strømmålinger på lokaliteten samt kartdokumentasjon som angitt i NS9410:2016 og resultater fra en B-undersøkelse eller tilsvarende.

I et forslag til revidering av forurensningsregelverket for akvakultur i sjø, har Miljødirektoratet og Fiskeridirektoratet blant annet foreslått å forskriftsfeste i Laksetildelingsforskriften at en forundersøkelse i henhold til NS9410:2016 skal gjennomføres.

NS9410:2016 deler området rundt anlegget i to soner – anleggssone og overgangssone. Anleggssonen er området under og nært akvakulturanlegget hvor tilførselen av organisk materiale er størst, og strekker seg vanligvis ikke mer enn 30 m ut fra anlegget. Overgangssonen er området utenfor anleggssonen, der akvakulturanlegget fortsatt er hovedkilden for tilførsler men det er mindre biologiske og kjemiske endringer på bunnen. Overgangssonen strekker seg vanligvis ikke mer enn 500 m fra anlegget (NS9410:2016). NS9410 åpner for bruk av et egnet, validert modellverktøy for å angi anleggssonen og overgangssonen.

Forundersøkelsen skal minimum omfatte:

- Kartdokumentasjon
- Strømmålinger (tatt i forbindelse med søknad om lokalitet)
- Bunnoppmåling
- Partikkelfordeling for vurdering av bunnsubstrat
- C-undersøkelse
- B-undersøkelse
- Hydrografimålinger (foreslått i revisjon av Laksetildelingsforskriften)
- Sedimentprøver (foreslått i revisjon av Laksetildelingsforskriften)

Forundersøkelsen har som mål å undersøke topografi, strøm- og bunnforholdene i anleggs- og overgangssonen før akvakulturanlegget plasseres. Den brukes som referanse for senere undersøkelser og kan gi grunnlag for å vurdere hvor i anleggssonen og overgangssonen det organiske materialet primært vil akkumulere og på denne måten gi grunnlag for å plassere overvåkningsstasjoner. Strømmålinger gjort i forbindelse med søknad om lokalitet skal brukes og sees i sammenheng med strømmåling tatt iht NS9415 og NYTEK-forskriften.

1.3 Strømmålinger i forbindelse med forundersøkelsen

Strømmålingene som inngår i forundersøkelsen er beskrevet i «Veilederen for utfylling av søknadsskjema for tillatelse til akvakultur i flytende eller landbasert anlegg» (Fiskeridirektoratet). Strømmålingene brukes til å vurdere lokalitetens bæreevne.

Krav til strømmålingene fra Veilederen er:

1. Måledyp
 - Vannutskiftningsstrøm: Måles ved det halve dypet av planlagt merddyp
 - Spredningsstrøm: Måles midt mellom merdbunnen og sjøbunnen, men likevel ikke dypere enn 50 m fra merdbunnen.
 - Bunnstrøm: Måles 1 m over sjøbunnen, men likevel ikke dypere enn 100 m fra merdbunnen.
2. Varighet: Kontinuerlig over en periode på minst 4 uker
3. Resultater: Maksimum, minimum, varians, middel, hovedstrømretning
4. Gjennomført av: kvalifisert personell. Det påpekes at det ikke er krav til å være «kompetent organ» (i motsetning til for B-undersøkelser).

I forbindelse med vurderinger av lokalitetens bæreevne og partikkelspredning over tid anses middelstrøm og hovedstrømretning som viktigere enn maksimum, varians og minimum. Disse er derfor blant parameterne som er valgt ut for våre analyser.

Strømmålingene brukes også av Mattilsynet (Mattilsynet, 2008) for å gjøre vurderinger av smittefare og fiskevelferd. Vannutskiftningsstrømmen anses som viktig for fiskevelferd.

Mattilsynet (Mattilsynet, 2008) gir blant annet følgende råd for vurdering av lokalitetens egnethet basert på vannutskiftningsstrøm:

- andel nullmålinger (hastighet lavere enn 1 cm/sek): bør være mindre enn 10 %.

- varighet på nullmålinger: Nullmålinger som har lang varighet (12 -24 timer) må ikke forekomme
- antall registrerte høye strømhastigheter (over 30 cm/sek): vurderes opp mot fiskens svømmekapasitet som varierer bl. a. med art, størrelse, temperatur og lysforhold.
- retning på strømmen: må tas hensyn til ved valg av merdkonfigurasjon
- total vannutskiftning: Skal sikre nok oksygen til fisken. Vurderes opp mot fisketetthet og merdens diameter samt merdkonfigurasjon

Spredningsstrøm og bunnstrøm er viktige for å vurdere lokalitetens bæreevne og må vurderes opp mot vanddyb ved lokaliteten (Mattilsynet, 2008). På grunne lokaliteter behøves sterkere spredningsstrøm og bunnstrøm for å sikre at sedimenter ikke hoper seg opp.

I Multiconsults besvarelse av Spørsmål B (tilstrekkelig måleperiode) er derfor følgende parametre lagt vekt på:

- gjennomsnittsstrøm
- prosentandel nullmålinger (< 1 cm/s)
- prosentandel målinger ≤ 3 cm/s
- prosentandel målinger ≥ 30 cm/s
- Neumann-parameter
- vektormiddel av strømmen
- sektor med størst relativ vannutskiftning (15 graders sektorer)

Både Neumann-parameteren og vektormiddel av strømmen er forenklede mål på hvorvidt vann blir transportert bort fra lokaliteten.

Vektormiddelet av strømmen er alltid lavere enn gjennomsnittsstrømmen. Hvis strømmen har vært 10 cm/s mot nord i en periode, og så 10 cm/s mot sør i like lang periode, så vil vektormiddelet av strømmen være 0 cm/s, mens gjennomsnittsstrømmen vil være 10 cm/s.

Neumann-parameteren er et mål for hvor stabil strømretningen er. Den beregnes ut ifra et progressivt vektordiagram og er definert som forholdet mellom lengden av den rette linjen mellom start- og slutt punkt og lengden av den totale banen. Neumann-parameteren bør ses i sammenheng med vektormiddelet av strømmen og gjennomsnittsstrømmen. Merk at det å bruke kun Neumann-parameteren til å beskrive vannutskiftningen kan bli utilstrekkelig. På steder med sterk tidevannsstrøm for eksempel kan Neumann-parameteren være nært null uten at vannutskiftningen nødvendigvis er lav.

2 Spørsmål A Representativitet av målinger før etablering

Strømbildet i og rundt oppdrettsanlegget påvirkes av antall og type nøter, notporositet, grad av begroing, anleggets orientering, ekstraustyr som luseskjørt, tetthet av fisk i merdene, fiskens svømmemønster, m.m. Det foregår omfattende forskning rundt disse faktorene og deres effekt på strømbildet. Problemstillingen er bredt adressert både gjennom målinger og numeriske simuleringer, samt teoretiske formuleringer. Spørsmål A adresseres derfor ved en gjennomgang av tilgjengelig faglitteratur.

Det foreligger flere studier av strømningsmønster rundt nøter i oppdrettsanlegg med ulike merdkonfigurasjoner. Modellsimuleringer (f.eks. Oppedal m. fl. 2011) viser en klar skjermingseffekt når nøter ligger etter hverandre i strømrretningen. Bi og Xu (2017) simulerte effekten av vinklingen til nøtene i forhold til innkommende strømrretning. Ved simulering av en typisk konfigurasjon med to rader av nøter, ble det påvist at vinkelen anlegget har i forhold til bakgrunnsstrømmen vil være av betydning for vannutskiftingsstrømmen i hver enkelt merd. Det ble også påvist at strømmen akselereres mellom merdene, samt under anlegget. Hastighetsøkningen under anlegget avhenger av notas dyp i forhold til vanddyppet. Klebert og Su (2020) målte strømhastighet på 12 m vanddyp nedstrøms av to merder. Denne studien illustrerer godt hvordan skjermingseffekten fra merdene også kan observeres ved hjelp av målinger.

Observasjoner har vist tilfeller hvor strømmen under anlegget i mindre grad påvirkes av selve anlegget, mens andre studier har demonstrert hvordan strømmen i visse tilfeller vil kunne påvirkes. Jonsdottir m. fl., (2021) gjorde målinger inni, opp- og nedstrøms et anlegg ved maksimal biomasse med 55 m dype spissposser og luseskjørt i et område med vanddyp på rundt 100 m. De fant at strømmen nedstrøms anlegget i liten grad var påvirket under 22 m dybde. Inni nota, var maksimal strømrreduksjon 86 %, og reduksjonen var størst i de øvre 10 m, som følge av skjerming fra luseskjørtet. Klebert m. fl., (2015) gjorde tilsvarende undersøkelser i et anlegg med 12 m dype sylindriske nøter, på 20-30 m vanddyp. Her var det også påmontert 10 m dype luseskjørt. Observasjonene viste en reduksjon i strømhastighet på 21.5 % inni nota og 35 % nedstrøms nota i hele notas vanddyp. Dette er sammenlignbart med Hartstein m. fl. (2021), som fant 22-28% reduksjon inni nota. I denne studien ble det målt strømr i og rundt et oppdrettsanlegg med 9 stk, 20 m dype sylindriske nøter som lå på rekke. Vanddyp under anlegget var 28 – 40 m og Hartstein m. fl. (2021) fant videre at det under anlegget var en akselerasjon av strømmen, noe som også samsvarer med simuleringene i Bi og Xu, (2017). I deres simuleringer fant de en klar sammenheng mellom strømhastighet og notas relative dybde i forhold til vanddyp. De fant at akselerasjonen under nota var maksimal ved notdyp på omtrent en faktor 0.7 av vanddyppet.

Hartstein m. fl., (2021) observerte 10-15 % høyere hastighet mellom merdene enn utenfor anlegget. Betydelig begrodde merder fører til en resirkulasjon av vannet på lesiden av merden, noe som reduserer vannutskiften i merden ytterligere. Modellsimuleringer (Oppedal m. fl., 2011; Bi og Xu, 2017) viser en betydelig effekt av begroing av merdene. Bi og Xu, (2017) fant en økning i opp mot 23% i strømrstyrke mellom burene i tilfeller med svært begrodde merder. Nedstrøms anlegget fant de en reduksjon i strømrstyrke på 38 % for rene nøter, mens for begrodde nøter var reduksjonen på 51% til 70%.

Broch m. fl. (2020) gjennomførte en modelleringsstudie av spredning av partikulært avfall fra oppdrettsanlegg. Studien er et godt eksempel på bruken av høyoppløst numerisk modell for å beskrive spredning av partikulært avfall fra anlegget. Det ble demonstrert at modellen er i stand til å inkludere effekten nøtene har på strømbildet, ved å inkludere nøtene gjennom forenklet

parameterisering. Modellresultatene påviste at nøtene har en effekt også på nedslagsfeltet til partikler og næringssalter fra driften av anlegget.

I Mattilsynets veileder (Mattilsynet, 2008) er det antydnet en forventet reduksjon av strømhastigheten på rundt 20 % som følge av notposen. Diskusjonen over viser imidlertid at dette vil variere over anleggets utstrekning. Vannutskifting i en merd øker med økende bakgrunnsstrøm og synker med økende størrelse på merden og fisketetthet. Det vil si at i større merder må fisketettheten være lavere for å opprettholde vannutskifting og dermed tilstrekkelig oksygennivåer gitt samme bakgrunnsstrøm (Oppedal m. fl. 2011).

Anlegget vil altså påvirke strømforholdene, men i varierende grad. Vannutskiftingsstrøm og strømmen i notas dyp vil bli redusert som følge av anleggets skjermingseffekt. Grad av påvirkning fra anlegget varierer, men legger man studiene som er nevnt her til grunn, kan man forvente en reduksjon i vannutskiftingsstrøm nedstrøms anlegget i størrelsesorden 20-40% for rene nøter. For begroddede nøter kan reduksjonen være sterkere. For spredningsstrøm forventes det liten påvirkning på dype lokasjoner, mens det for grunne lokaliteter vil kunne være en akselerasjon under anlegget. For grunne lokaliteter vil en akselerasjon under anlegget og skjermingseffekt i relativt sett større del av vannsøyla kunne ha betydning for partikkelspredningen.

Det vil imidlertid være stor variasjon i merdkonfigurasjon (antall nøter, deres orientering, dybde på not, spiss eller sylindrisk) og grad av skjerming (avstand mellom nøter, luseskjørt, begroing, fisk i nøtene eller ikke) i forskjellige anlegg. Det vil i tillegg være en spredning i de ytre faktorene som kontrollerer strømbildet over utbredelsen av et anlegg, så som strømstyrker, bunntopografi, omkringliggende landformasjoner, lokal lagdeling osv. Dermed er det også variasjon i premissene som ligger til grunn for de forskjellige studiene, og hvordan disse er overførbare til typiske anlegg. Det er dermed vanskelig å dra ut generelt gyldige konklusjoner fra tilgjengelig litteratur, ikke minst når det gjelder en allmenngyldig kvantifisering av endring av strømstyrker.

At anlegget påvirker strømbildet er hevet over enhver tvil. Spørsmålet er derfor om strømmålinger bør utføres i etterkant av anleggets etablering, for å påvise effekten. Det er imidlertid påvist at strømningsbildet blir komplekst, og varierer med endringer i anleggskonfigurasjonen. Det vil være teknisk utfordrende å måle strømmen inne i anlegget, og likeledes kostnadmessig utfordrende å gjennomføre det antall målinger som må til for å beskrive strømbildet. Det reiser seg også et spørsmål om hvordan dette detaljerte strømbildet skal benyttes videre for vurdering av spredning av partikler og næringssalter. For å utnytte denne informasjonen kreves en spredningsmodell, som gjerne er en del av en strømmodell. Vi vurderer det slik at en høyoppløst strømmodell med tilhørende spredningsmodellering vil gi større nytte og være mer kostnadseffektivt enn flere strømmålinger.

Basert på litteraturstudien som er gjennomført og oppsummert her, og våre egne vurderinger omkring ytterligere strømmålinger, oppsummerer og konkluderer Multiconsult derfor som følger: Et oppdrettsanlegg vil modifisere strømbildet i området der det er anlagt. Strømmålinger utført i forkant av utplasseringen er følgelig ikke fullt ut dekkende for situasjonen etter utplasseringen. Dette gjelder særlig strøm i vannutskiftingsdypet. Det modifiserte strømbildet vil imidlertid være komplekst, og variere gjennom anleggets driftsperiode som følge av variasjoner i anleggskonfigurasjonen. En dekkende beskrivelse av dette strømbildet gjennom målinger vil kreve et urealistisk antall målepunkter. Multiconsult vurderer det derfor ikke som hensiktsmessig å utføre ytterligere strømundersøkelser etter etablering. En høyoppløst strømmodell som tar hensyn til effekten av anlegget vurderes å ha større nytte i forhold til å fastslå hvor spredning av partikler og næringssalter fra driften av anlegget vil forekomme.

3 Spørsmål B Varighet av strømmålinger

3.1 Datagrunnlag

For å besvare spørsmålet om hvor representative strømmålinger med 4 ukers varighet er for strømbildet ved lokaliteten er det gjort en analyse av strømdata med lang varighet (1-3 år). Analysen peker også på hvordan representativiteten øker med økende lengde på varigheten av målingene.

Analysene er gjort basert på to typer datakilder:

- Årsmålinger av strøm ved 15 m dyp fra diverse lokaliteter langs Norskekysten. Da dataene eies av kundene, holdes nøyaktig plassering av disse konfidensielt. Strømmålingene varer fra 1 til 3 år og har 10 minuts tidssteg. Datasettene er tilfeldig utvalgt blant tilgjengelige datasett.
- Modelldata fra NorFjords160 (NF160) som er Havforskningsinstituttets hydrodynamiske modellsystem med 160 m oppløsning (Asplin et al. (2020) og Dalsøren et al. (2020)). Modelldataene har 1 times oppløsning og varer fra 01.04.2017 til 02.01.2020. Modelldataene dekker hele vannsøylen (35 lag) og det er trukket ut strøm fra vannutskiftningsdyp, spredningsdyp og fra laget nærmest bunn.

På grunn av det begrensede omfanget av prosjektet er det analysert 17 datasett fra målinger og 17 datasett fra modellen. Ni av disse er fra de samme lokalitetene og er brukt til validering av modellen. Det er brukt data fra i alt 25 forskjellige lokaliteter (med vanddyb fra 44 til 300 m, forskjellig beliggenhet (kyst, fjord, sund), varierende strømhastigheter). 12 av disse er lokalisert i Troms og Finnmark mens 13 av dem er på Vestlandet. For mer informasjon om lokalitetene se Tabell 1. Omtrentlig plassering av lokalitetene er vist i Figur 1.

Det foreligger målinger av sprednings/bunnstrøm med 1 måneds varighet ved de fleste av lokalitetene fra modellen som er valgt ut her. Disse er også brukt til validering. Validering av modellen er gjennomført for å sikre at modelldata er egnet for analysene i denne rapporten. Resultatene fra valideringen er gitt i Vedlegg A.



Figur 1 Omtrentlig plassering av lokalitetene

Tabell 1 Informasjon om lokalitetene. *Merk at modellbatymetrien er forenklet til 160 m oppløsning, noe som fører til at vandypet i modellen kan avvike fra det egentlige vandypet.

Lokalitet	Vandyp i NF160*	Vandyp målested	Type lokalitet	Fylke
1	104 m	77 m	Kyst	Troms og Finnmark
2	235 m	250 m	Sund	Vestland
3	144 m	75 m	Åpen fjord	Vestland
4	107 m	111 m	Fjord/Kyst	Troms og Finnmark
5	195 m	235 m	Kyst	Troms og Finnmark
6	265 m	250 m	Fjord	Vestland
7	147 m	175 m	Fjord/Kyst	Vestland
8	241 m	240 m	Fjord	Vestland
9	97 m	145 m	Kyst	Troms og Finnmark
10	-	135 m	Åpen fjord	Vestland
11	-	190 m	Åpen fjord	Vestland
12	-	110 m	Kyst	Vestland
13	-	100 m	Kyst/sund	Vestland
14	-	300 m	Sund	Vestland
15	-	70 m	Fjord	Troms og Finnmark
16	-	100 m/136 m	Fjord	Troms og Finnmark
17	-	95 m	Kyst	Troms og Finnmark
18	61 m	67 m	Sund	Troms og Finnmark
19	130 m	75 m	Kyst	Troms og Finnmark
20	266 m	180 m	Sund	Vestland
21	44 m	64 m	Kyst	Troms og Finnmark
22	182 m	284 m	Kyst	Vestland
23	227 m	-	Fjord	Vestland
24	63 m	-	Kyst	Troms og Finnmark
25	110 m	130 m	Sund	Troms og Finnmark

3.2 Metode

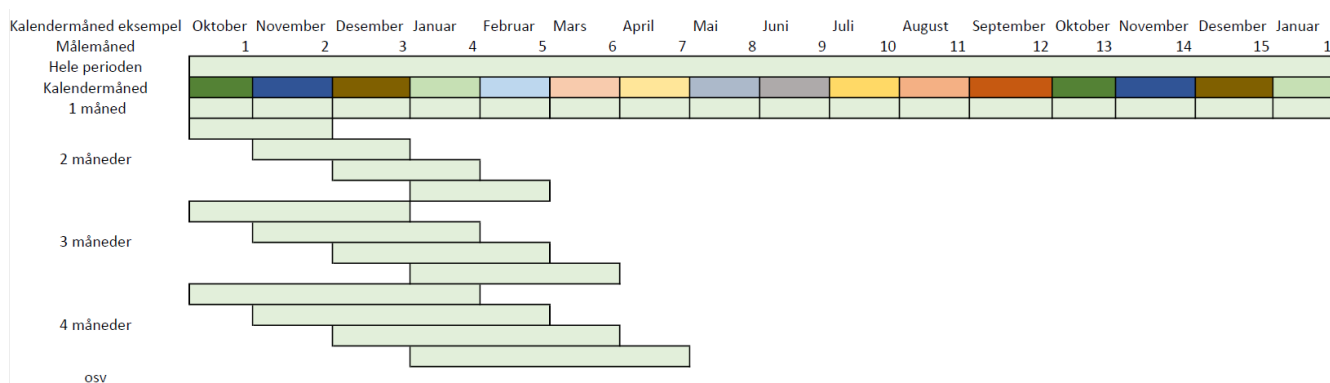
Analysene tar for seg følgende parametre:

- gjennomsnittsstrøm
- prosentandel nullmålinger (< 1 cm/s)
- prosentandel målinger ≤3 cm/s
- prosentandel målinger ≥30 cm/s
- Neumann-parameter
- vektormiddel av strømmen
- sektor med størst relativ vannutskiftning (15 graders sektorer)

For å vurdere effekten av måleperiodens varighet på strømparameterne og årssyklusen av parameterne, er det brukt følgende framgangsmåte:

- 1) Parameterne er beregnet basert på forskjellige deler av tidsseriene (se illustrasjon i Figur 2):
 - a) hele måle/modellperioden (=langtidsverdi)
 - b) for hver kalendermåned
 - c) for 1 måned varighet: for uavhengige segmenter med 30 dagers lengde (dag 1-30, 31-60, osv)
 - d) for flere måneders varighet (1-12 måneder): for overlappende segmenter med 60, 90, 120 osv dagers lengde
 - 60 dager: dag 1-60, 31-90, osv
 - 90 dager dag 1-90, 31-120, osv....
 - osv
- 2) For hver lokalitet undersøkes følgende:
 - a) Spredning i månedsmålinger: fordelingen av parameterne for 1 måneds varighet (1c)
 - b) Årssyklus per lokalitet: differansen mellom langtidsverdi (1a) og verdier fra kalendermånedene (1b)
 - c) Treffsikkerhet etter 1-12 måneder per lokalitet: differansene mellom langtidsverdi (1a) og verdier fra fra 1, 2, 3 osv måneders varighet (1c og 1d)
- 3) Statistikken fra lokalitetene legges sammen til
 - a) Årssyklus: Middel over årssyklusene fra alle lokaliteter (2b)
 - b) Treffsikkerhet etter 1-12 måneder: fordeling av treffsikkerhetene fra alle lokaliteter (2c)

Ved å bruke overlappende segmenter (1d) unngår man å miste informasjon fra deler av tidsserien når man analyserer statistikken for flere måneders varighet. Hvis man f.eks. bruker uavhengige (ikke-overlappende) segmenter med en varighet på 5 måneder for en tidsserie med 14 måneders lengde, vil man miste informasjonen fra de siste 4 månedene i statistikken.



Figur 2 Illustrasjon av inndelingen av tidsseriene (hele perioden, kalendermåned, segmenter med 1-12 måneders lengde)

3.3 Resultat

3.3.1 Spredning i månedsmålinger

I første skritt analyseres spredningen av parameterne for 1 måneds varighet for hver lokalitet.

Resultater og figurer foreligger for vannutskiftnings-, sprednings- og bunnstrøm, men det er her valgt å kun presentere vannutskiftningsstrøm (15 m) for å holde rapporten oversiktlig.

I Figur 4 til Figur 6 gis resultatene for 15 m dyp fra målinger (venstre side) og modell (høyre side) for utvalgte parametere (gjennomsnittsstrøm, andel nullmålinger og Neumann-parameteren).

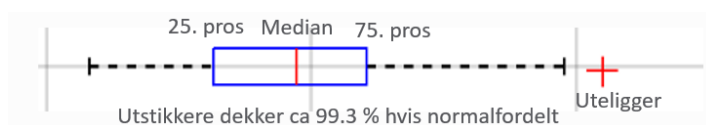
Spredningen i de andre parameterne er vist i Vedlegg B. Figurene er boksdiagrammer, som viser fordelingene av parameteren for hver lokalitet (se forklaring i Figur 3). Den røde streken symboliserer medianen av fordelingen, den blå boksen 25-75 prosentil og de røde kryssene symboliserer utliggere som ligger utenfor boksen med mer enn 1.5 ganger lengden av boksen, noe som tilsvarer omtrent 99.3 % av data dersom disse er normalfordelt. Utstikkeren tegnes fram til det nærmeste datapunktet som er ikke en utligger.

Et eksempel for hvordan man fortolker diagrammet:

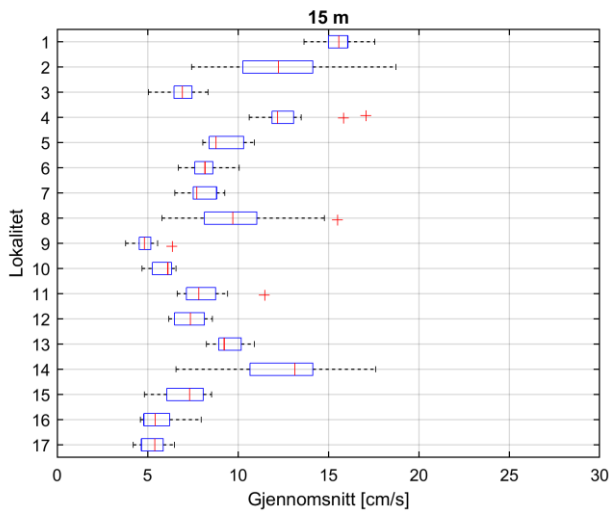
Gjennomsnittsstrømmen fra de forskjellige månedsmålingene (Figur 4a) ved lokalitet 1 varierer altså mellom 13 og 18 cm/s. Medianen av alle månedsgjennomsnittene fra lokalitet 1 er ca 15.5 cm/s (den røde streken) og 50 prosent av månedene ga gjennomsnitt mellom 15 og 16 cm/s. Ved lokalitet 2 derimot varierte gjennomsnittet betydelig mer – fra 7 cm/s til 18 cm/s. Medianen av alle månedsgjennomsnittene fra lokalitet 2 er på ca 12 cm/s og 50 prosent av månedene ga gjennomsnitt mellom 10 og 14 cm/s. Alt etter hvilken måned du har målt, kan du altså typisk få 10 eller 14 cm/s i gjennomsnittsstrøm, og i ytterlighet enda større spredning (7-18 cm/s).

Figurene viser at 3 av lokalitetene har relativt stor spredning i gjennomsnittsstrøm, mens spredningen ellers er mindre. Også for nullmålinger er det enkelte lokaliteter som viser betydelig større spredning enn andre. Neumann-parameteren derimot varierer forholdsvis mye fra måned til måned ved alle lokaliteter og de relative forskjellene mellom lokalitetene er ikke så tydelige. Spredningen av parameterne må ses opp mot bruksområdet og hvor nøyaktige verdier man trenger. Dette diskuteres nærmere i kapittel 3.4. Lokalitetsutvalget anses ikke som stort nok for å analysere om det finnes en fellesnevner for anleggene som gir større spredning.

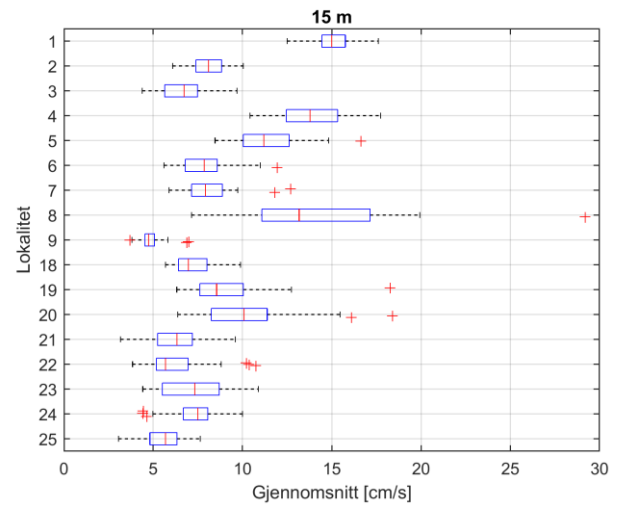
De første 9 lokalitetene i figurene er de samme fra måling og modell. Figurene kan derfor brukes som del av validering av modellen for disse lokalitetene. Man bør da ta hensyn til at varigheten på modelldataene er betydelig lengre enn målingene og at disse ikke nødvendigvis overlapper. Uansett viser sammenligningen at modellen stort sett beskriver de relative forskjellene mellom lokalitetene godt for både gjennomsnittsstrøm og andel nullmålinger. Lokalitet 2 og 8 skiller seg ut, ved at modellen henholdsvis under- og overestimerer strømhastighetene. For mer validering av modellen se Vedlegg A.



Figur 3 Forklaring av boksdiagram

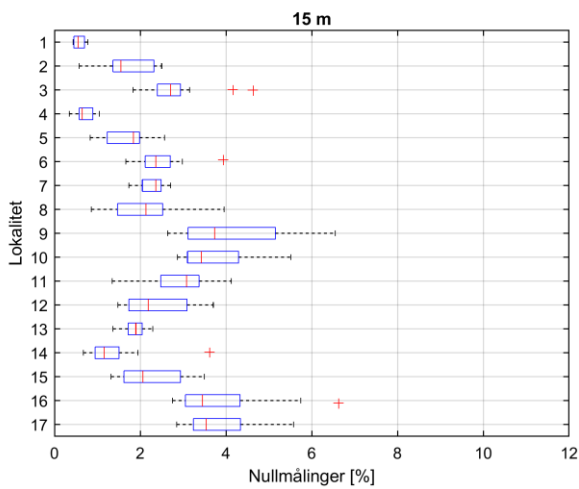


(a) Fra målinger

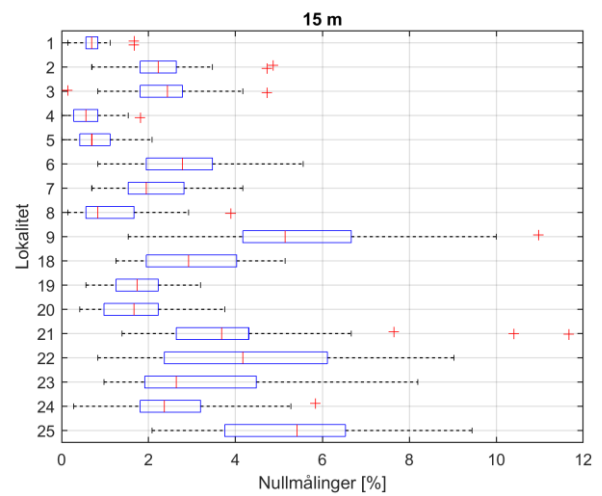


(b) Fra NF160

Figur 4 Vannutskiftningsstrøm: Spredning i gjennomsnittsstrøm basert på 1 måneds perioder

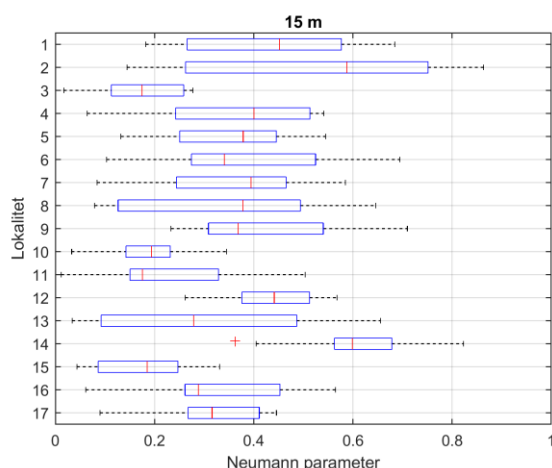


(a) Fra målinger

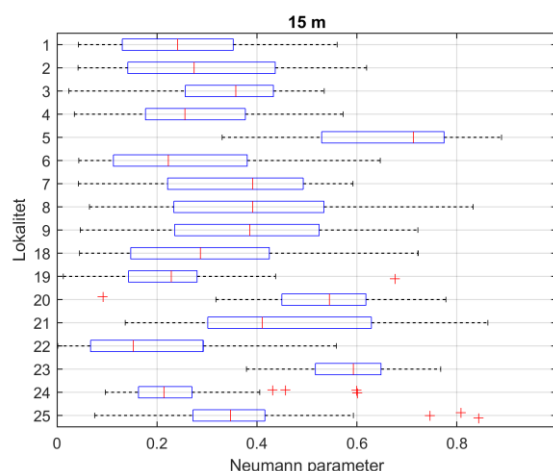


(b) Fra NF160

Figur 5 Vannutskiftningsstrøm: Spredning i prosentandel nullmålinger basert på 1 måneds perioder



(a) Fra målinger



(b) Fra NF160

Figur 6 Vannutskiftningsstrøm: Spredning i Neumann-parameter basert på 1 måneds perioder

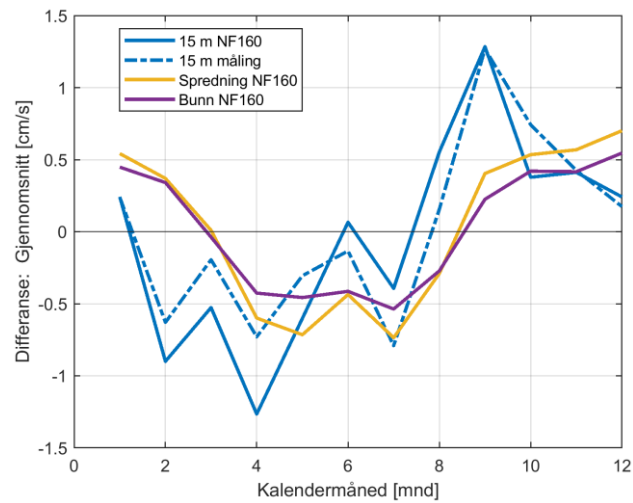
3.3.2 Årssyklus

Årssyklusen av strømparameterne ble analysert for å undersøke i hvilken grad valg av årstid for å utføre målingene kan lede til forskjeller i resultatene. Det er her fokusert på gjennomsnittsstrøm (Figur 7) og andel nullmålinger (Figur 8).

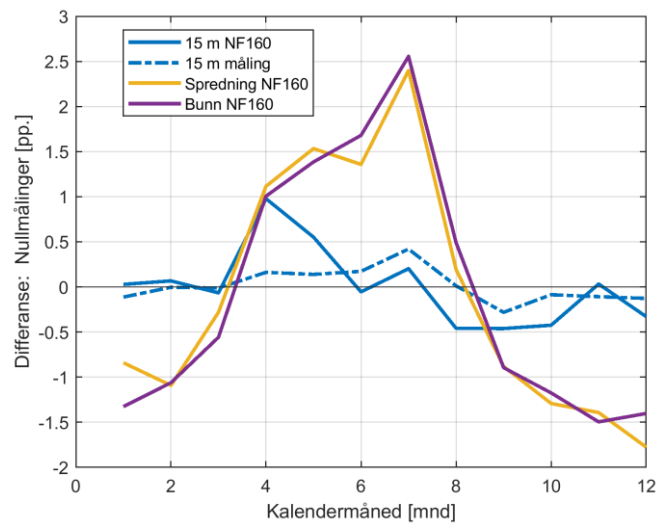
Resultatene i Figur 7 viser at årssyklusen er mest utpreget ved spredningsdyp og bunn, der månedlig gjennomsnittsstrøm mellom april og juli i middel er omtrent 0.5 cm/s lavere enn langtidsverdien. Den er omtrent 0.5 cm/s høyere fra september til februar. Dette tilsvarer ca 10 % av strømhastigheten. Ved 15 m er årssyklusen litt mindre tydelig. Den er i tillegg litt forskjøvet, med svakere strøm fra februar til juli, og sterkest strøm fra august til januar. Forskjellen i årssyklus for de tre vandypene reflekterer hvordan forskjellige drivkrefter påvirker strømmen i de tre dypene. Figuren viser at selv om årssyklusen er tydelig, er differansen relativt liten. Derfor har valg av måned i året for å gjennomføre målingen generelt liten betydning for den resulterende gjennomsnittsstrømmen som måles.

Årssyklusen i andel nullmålinger (Figur 8) gjenspeiler årssyklusen i gjennomsnittstrøm. Ved spredningsdyp og bunn er andel nullmålinger mellom april og juli i middel 1-2.5 prosentpoeng høyere enn langtidsverdien og 1-1.5 prosentpoeng lavere fra september til februar. Om du måler strøm i juli ved spredningsdyp og bunn, vil du altså i middel få 4 prosentpoeng høyere andel nullmålinger enn om du måler i desember. Ved 15 m dyp er årssyklusen svakere (stort sett mellom -0.5 og +0.5 prosentpoeng). Disse tallene må igjen ses opp mot bruksområdet og hvor nøyaktige verdier man trenger (se diskusjon i 3.4).

Merk at det er midlere årssyklus som er presentert i Figur 7 og Figur 8 og at det finnes en spredning rundt dette. Dette betyr at det er sannsynlig at verdier fra enkeltmåneder kan være høyere eller lavere enn det som indikeres her.



Figur 7 Årssyklus av gjennomsnittsstrøm: midlere differanse mellom månedlig gjennomsnittsstrøm og langtidsverdien

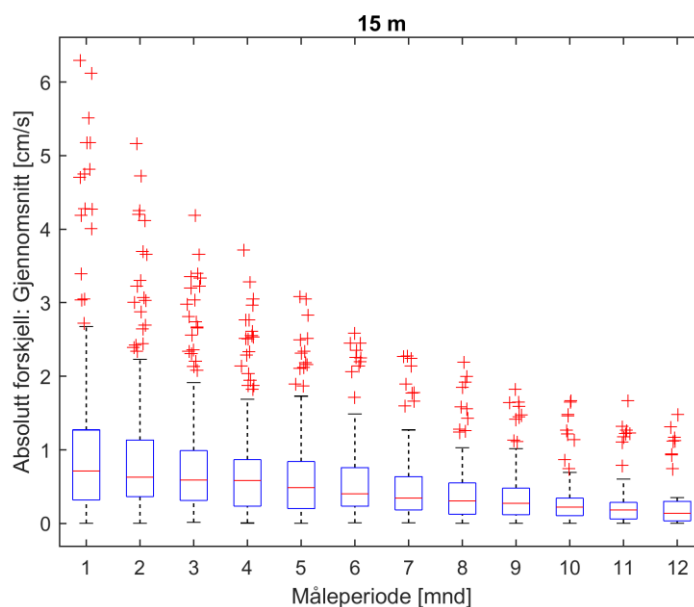


Figur 8 Årssyklus av nullmålinger: midlere differanse mellom månedlig andel nullmålinger og langtidsverdien

3.3.3 Treffsikkerhet etter 1-12 måneder

I det følgende er det presentert hvor treffsikre estimatene av parametere (gjennomsnittsstrøm, andel nullmålinger osv) er for måleperioder av økende lengde, sammenlignet med langtidsverdiene (basert på hele tidsseriens lengde på 1-3 år). Dette er gjort ved å analysere differansen mellom verdiene fra korte perioder med langtidsverdien.

For hver lengde av måleperiode (1-12 måneder) får vi da en fordeling av differansen mellom den målte parameteren og langtidsverdien. Figur 9 viser dette som boksdiagram for gjennomsnittsstrøm ved 15 m dyp som eksempel. Man kan se hvordan fordelingen blir smalere og smalere for økende måleperiode som betyr at estimatene blir bedre og bedre jo lengre man måler. Det å øke lengden på måleperioden utover en måned har relativt liten effekt på hoveddelen av dataene (som ligger i de blå boksene), mens utliggerne reduseres sterkere (de «verste» periodene gir mindre avvik fra langtidsverdiene).



Figur 9 Differansen mellom gjennomsnittsstrøm fra kortere målinger og langtidsverdien og hvordan denne utvikler seg for måleperioder av økende lengde. Basert på målinger ved vannutskiftningsdyp (15 m)

I forbindelse med revisjonen av NS9415:2009 ble det gjort en studie for å vurdere hvorvidt månedsmålinger er tilstrekkelige for å fastsette dimensjonerende strøm (Sintef, 2018; Multiconsult, 2018). Det ble konkludert at det anbefales å måle strøm i minst ett år og at man, hvis man skulle åpne for kortere måleperioder, burde bruke 3 måneder som minimum. På bakgrunn av dette krever den nye revisjonen av standarden (NS 9415:2021) strømmålinger av minst 3 måneders varighet.

Gitt dette nye minimumskravet til strømmålingen ved 5 og 15 m dyp (som i praksis brukes som vannutskiftningsstrøm i forbindelse med søknader) er det i det følgende valgt å fokusere spesielt på effekten av å forlenge måleperioden fra 1 til 3 måneder på de undersøkte parametere.

Tabell 2 og Tabell 3 gir henholdsvis median (50. prosentil) og 90. prosentil av fordelingen av differansen mellom estimatene fra 1 og 3 måneder og langtidsverdien for alle analyserte parametere. Resultatene er gitt separat for målinger og modelldata og for de 3 forskjellige dybdene. For median (Tabell 2) vil 50 % av målingene være mer usikker enn verdien som er oppgitt i tabellen. For 90. prosentil (Tabell 3) reduseres denne andelen til 10 %. For parameterne som angir prosentandeler gis resultatene i prosentpoeng.

Median (Tabell 2) på 0.7 cm/s betyr for eksempel at 50 % av månedene gir en gjennomsnittsstrøm innenfor ± 0.7 cm/s av langtidsverdien. Dette tilsvarer (se raden under) at man er innenfor ± 9 % av langtidsverdien. 90. prosentil (Tabell 3) på 2.3 cm/s betyr at 90 % av månedene gir gjennomsnittsstrøm innenfor ± 2.3 cm/s av langtidsverdien. Dette tilsvarer ± 23 % av langtidsverdien. For 3 måneder endrer disse tallene seg til ± 0.6 cm/s (7 %) for median og ± 2.0 cm/s (21 %) for 90. prosentil. Når det gjelder gjennomsnittsstrømmen, øker altså treffsikkerheten relativt lite ved å øke måleperioden fra 1 til 3 måneder. Dette gjelder også de andre parameterne i tabellene.

Resultatene for parameteren «hovedretning» er gitt i Tabell 4 og Figur 10. Mellom 80 og 89 % av målingene viser en hovedretning innenfor $\pm 15^\circ$ av langtidsverdiene allerede etter 1 måned. Etter 3 måneder er denne andelen økt til mellom 85 og 93 %. En økning i måleperiodens lengde fra 1 til 3 måneder vil altså gi liten økning i presisjonen for parameteren «hovedretning». Figur 10 viser at de resterende målingene ofte gir et avvik på ca 180° . Dette kan forklares med at strømrosene ofte har to hovedretninger (pga tidevannet) og at det i enkelte perioder er den motsatte retningen som gir større vannutskiftning.

Tabell 2 Treffsikkerhet av estimatene – median av differansen mellom estimatene basert på korte tidsserier (1 og 3 måneder) og langtidsverdien for forskjellige parametere. Viser hvor nært «sannheten» 50 % av målingene er. Viser hvordan økning i måleperiode til 3 måneder forbedrer estimatene av parameterne. pp. = prosentpoeng

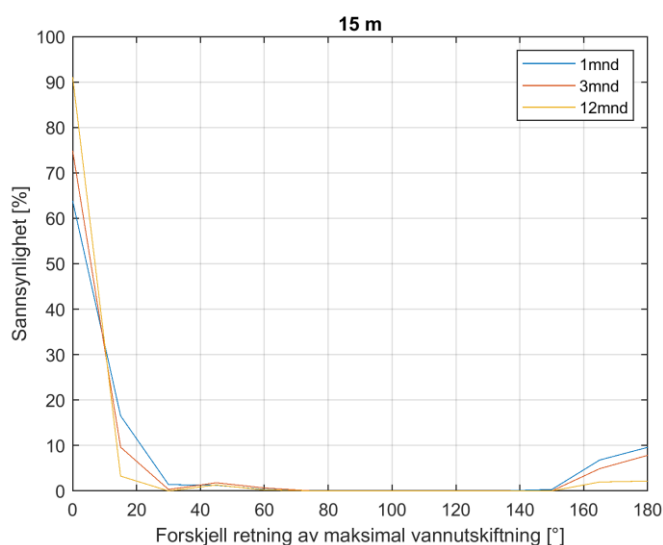
Parameter	Målinger		NF160					
	Vannutskiftning 15 m		Vannutskiftning 15 m		Spredning		Bunn	
	1 mnd	3 mnd	1 mnd	3 mnd	1 mnd	3 mnd	1 mnd	3 mnd
Varighet av målingen	1 mnd	3 mnd	1 mnd	3 mnd	1 mnd	3 mnd	1 mnd	3 mnd
Gjennomsnitt [cm/s]	0.7	0.6	1.0	0.7	0.7	0.5	0.6	0.5
Gjennomsnitt [%]	9	7	12	9	12	9	12	10
Vektormiddel [cm/s]	1.0	0.7	1.0	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3
Prosentandel nullmålinger [pp.]	0.4	0.3	0.6	0.4	1.1	0.8	1.2	1.0
Prosentandel ≤ 3 cm/s [pp.]	2.2	1.6	3.2	2.3	4.7	3.3	5.1	3.9
Prosentandel ≥ 30 cm/s [pp.]	0.3	0.2	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Neumann []	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabell 3 Treffsikkerhet av estimatene - 90 prosentil av differansen mellom estimatene basert på korte tidsserier (1 og 3 måneder) og langtidsverdien for forskjellige parametere. Viser hvor nært «sannheten» 90 % av målingene er. Viser hvordan økning i måleperiode til 3 måneder forbedrer estimatene av parameterne. pp. = prosentpoeng

Parameter	Målinger		NF160					
	Vannutskiftning 15 m		Vannutskiftning 15 m		Spredning		Bunn	
Varighet av målingen	1 mnd	3 mnd	1 mnd	3 mnd	1 mnd	3 mnd	1 mnd	3 mnd
Gjennomsnitt [cm/s]	2.3	2.0	2.8	2.0	1.7	1.3	1.4	1.1
Gjennomsnitt [%]	23	21	31	22	31	25	29	24
Vektormiddel [cm/s]	3.5	2.5	3.1	2.1	1.7	1.3	1.4	1.0
Prosentandel nullmålinger [pp.]	1.1	0.8	2.1	1.4	4.1	3.4	4.7	4.1
Prosentandel ≤ 3 cm/s [pp.]	6.5	4.7	9.6	6.7	14.5	10.9	14.8	11.4
Prosentandel ≥ 30 cm/s [pp.]	3.3	2.8	3.4	2.1	0.4	0.4	0.2	0.2
Neumann []	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2

Tabell 4 Hovedretning – Prosentandel av målinger som gir hovedretning innenfor $\pm 15^\circ$ av langtidsverdien for forskjellige datasett og dybder

Prosentandel innenfor $\pm 15^\circ$ [%]	Målinger	NF160		
	Vannutskiftning 15 m	Vannutskiftning 15 m	Spredning	Bunn
Etter 1 måned [%]	83.5	80.4	89.3	84.9
Etter 3 måneder [%]	90.9	84.5	92.7	91.2
Forbedring fra 1 til 3 måneder (pp.)	4.1	3.3	6.3	4.1



Figur 10 Sannsynlighetsfordeling av differanse mellom hovedretning fra korte tidsserier og langtidsverdien (for vannutskiftningsstrøm basert på NF160)

3.4 Vurdering

Analysene rundt varigheten av strømmålingene er gjort basert på en kombinasjon av måledata og modelldata. Selv om modellen er validert, er modellen kun en forenkling av virkeligheten og beheftet med usikkerheter. I tillegg er resultatene basert på et begrenset utvalg lokaliteter (pga tilgjengelighet og omfanget av oppdraget). Det foreligger imidlertid modelldata for hele landet slik at utvalget kan utvides etter ønske. Ingen lange målinger av sprednings- og bunnstrøm var tilgjengelige for prosjektet.

Usikkerhetene i estimatene fra strømmålingene gitt i Tabell 2 og Tabell 3 bør ses opp mot formålet med målingene, samt usikkerheten i de andre faktorene som er med på å påvirke strømbildet. I motsetning til ved strømmåling i hht NS9415 som brukes i prosjektering har den nøyaktige verdien av parameterne ingen direkte konsekvens for vurderinger av bæreevnen. Usikkerheter knyttet til målingene har altså mindre betydning.

Vi har blitt informert om at vurderinger ofte gjøres på bakgrunn av inndeling av strømparameterne i klasser, f.eks. strømklassifiseringen av Åkerblå (2015) eller Rådgivende Biologer (se eksempel i Rådgivende Biologer, 2010), der parameterne klassifiseres i 5 klasser. Merk at klassifiseringene fra Åkerblå og Rådgivende Biologer er gjort på bakgrunn av et (ukjent) utvalg av lokaliteter ved å oppgi (ukjente) prosentiler. Sammenligningen av disse to klassifiseringene med hverandre og med datautvalget brukt i foreliggende rapport, viser at lokalitetsutvalget og framgangsmåte i definisjon av klassene påvirker klassifiseringen.

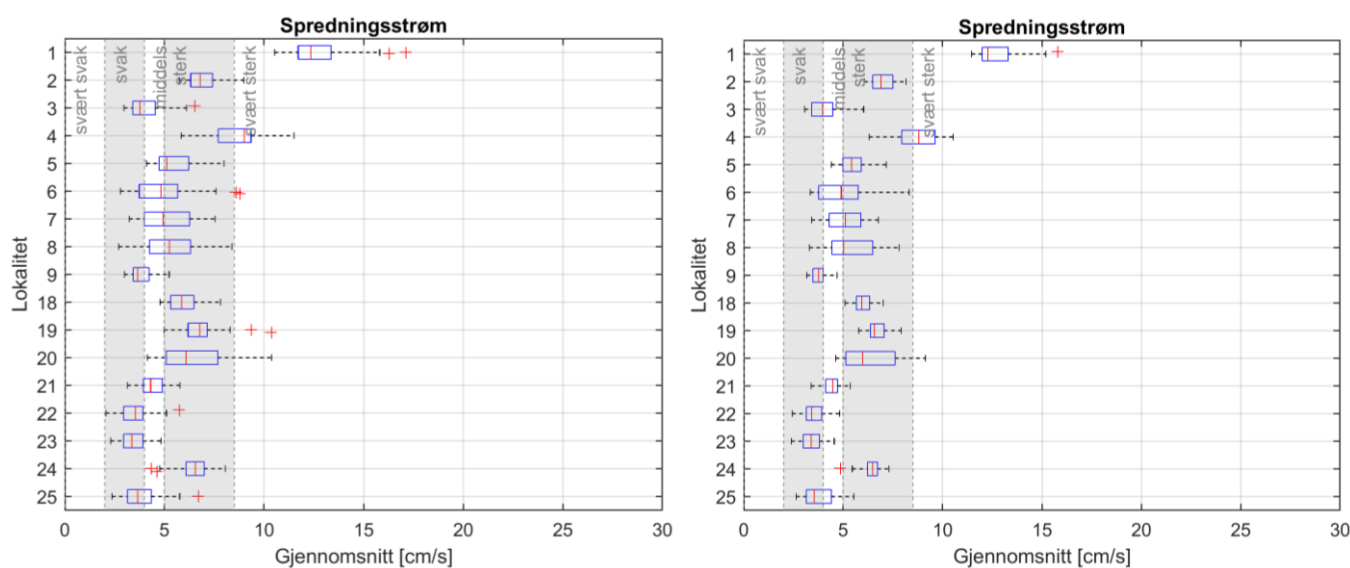
Enhver klassifisering må også ses i lys av bruksområdet og grenseverdiene for ulike prosesser/operasjoner. For vurdering av fiskevelferd er det andre hensyn å ta enn for vurdering av bæreevnen, og forskjellige type anlegg krever også forskjellige strømforhold. Vi vil anbefale at det gjøres en gjennomgang av klassifiseringssystemet ved hjelp av et større utvalg av strømdata og med fokus på et eller flere definerte formål.

Uansett anses det som hensiktsmessig å sammenligne treffsikkerheten i Tabell 2 til Tabell 3 med størrelsen på klassene i de strømklassifiseringene som benyttes. Som illustrasjon viser Figur 11 til Figur 14 spredningen i noen av parameterne basert på tidsserier av spredningsstrøm med 1 og 3 måneders varighet sammen med klassifiseringen til Åkerblå (2015).

For gjennomsnittsstrøm er klassene typisk på ca. 1-3 cm/s. Det betyr at man med verdier for treffsikkerhet under 0.5-1.5 cm/s har stor sannsynlighet til å treffe i rett klasse, mens man med verdier over 0.5-1.5 cm/s har en større sannsynlighet for å velge en av naboklassene. For gjennomsnittsstrøm betyr dette at man med en månedsmåling har omtrent 10-25 % sannsynlighet for å velge en av naboklassene til den som langtidsverdien ville gitt. Det samme gjelder for nullmålinger og prosentandelen målinger under 3 cm/s, når man tar hensyn til at klassestørrelsen øker ved større vanddyp. For vektormiddelet og Neumann-parameteren er det en noe større andel av målinger som vil gi klassifikasjon i naboklassene og noen vil kunne klassifiseres mer enn én klasse unna.

Figurene viser hvordan det å øke måleperioden fra 1 til 3 måneder forbedrer treffsikkerheten noe. Imidlertid er denne forbedringen liten i forhold til klassenes størrelse. Også den midlere årssyklusen som er funnet (noe svakere sprednings- og bunnstrøm om sommeren enn om vinteren) anses som liten i forhold til klassenes størrelse. Forbedringen må også ses i et kost/nytte-perspektiv. Kostnadene ved lengre målinger diskuteres i 4.1.

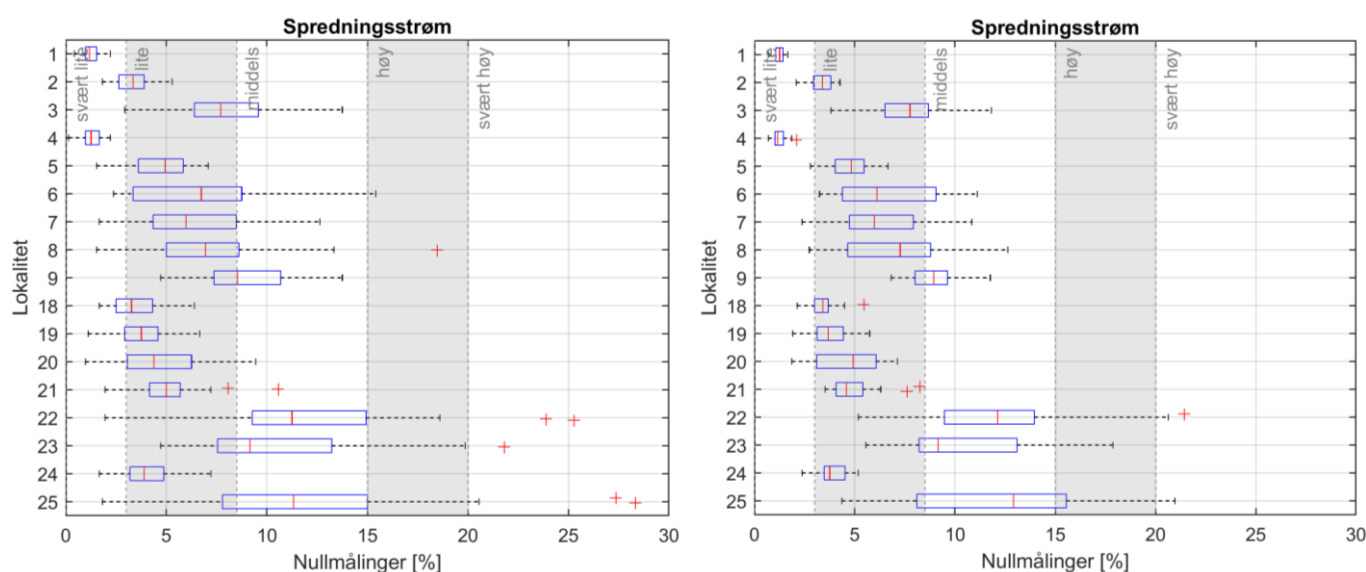
Med bakgrunn i disse resultatene og sett i et kost-nytte-perspektiv er det naturlig å konkludere at strømmålinger med varighet på 1 måned generelt er tilstrekkelig for forundersøkelsens formål. Dersom vurderingene som gjøres basert på målingene er spesielt sensitive til de undersøkte parameterne, bør det tas hensyn til usikkerhetene som framkommer i denne rapporten. I så fall bør lengre målinger vurderes. NS9415:2021 krever minimum 3 måneders måling av strømmen ved 5 og 15 m dyp. I praksis har disse målingene blitt brukt som vannutskiftningsstrøm og blir ofte gjennomført sammen med sprednings- og bunnstrømmålinger. Aktørene bør i veilederen orienteres om at usikkerhetene knyttet til målingene vil reduseres om de lar instrumenter for sprednings- og bunnstrøm stå ute hele måleperioden. Dette er nærmere omtalt i vurderingen av kostnadene knyttet til dette.



(a) 1 måned

(b) 3 måneder

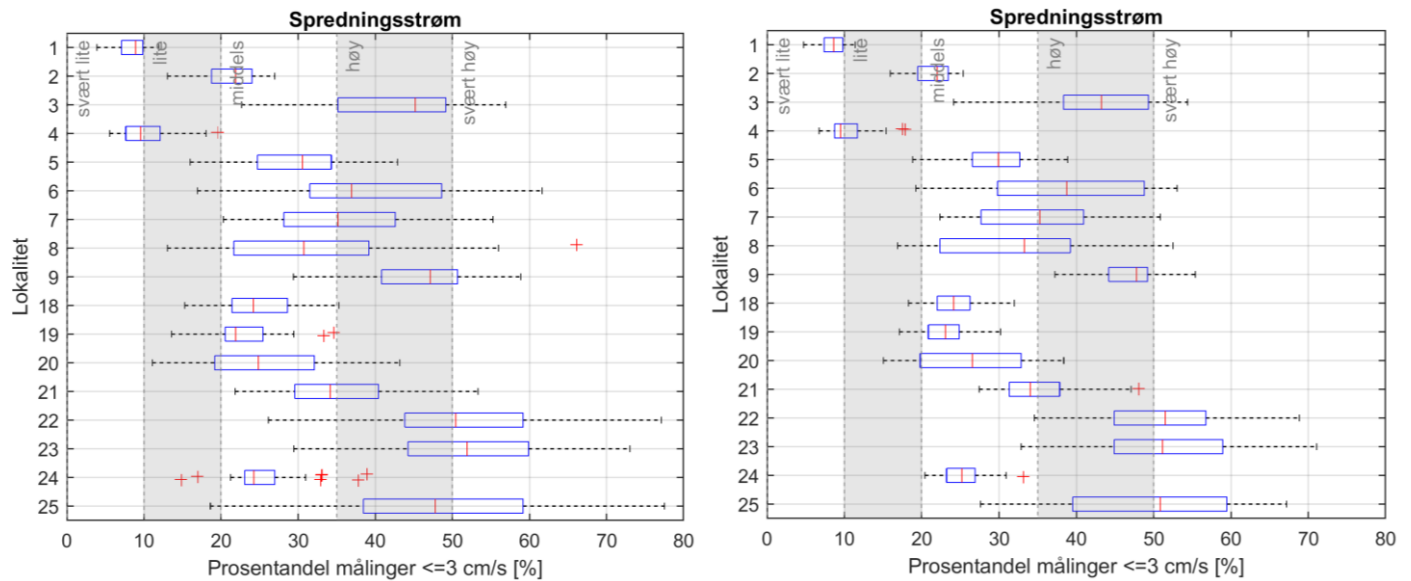
Figur 11 Spredningsdyp: Spredning i gjennomsnittsstrøm basert på modelldata med 1 og 3 måneders varighet. I lysegrå indikeres strømklassifiseringen fra Åkerblå (2015).



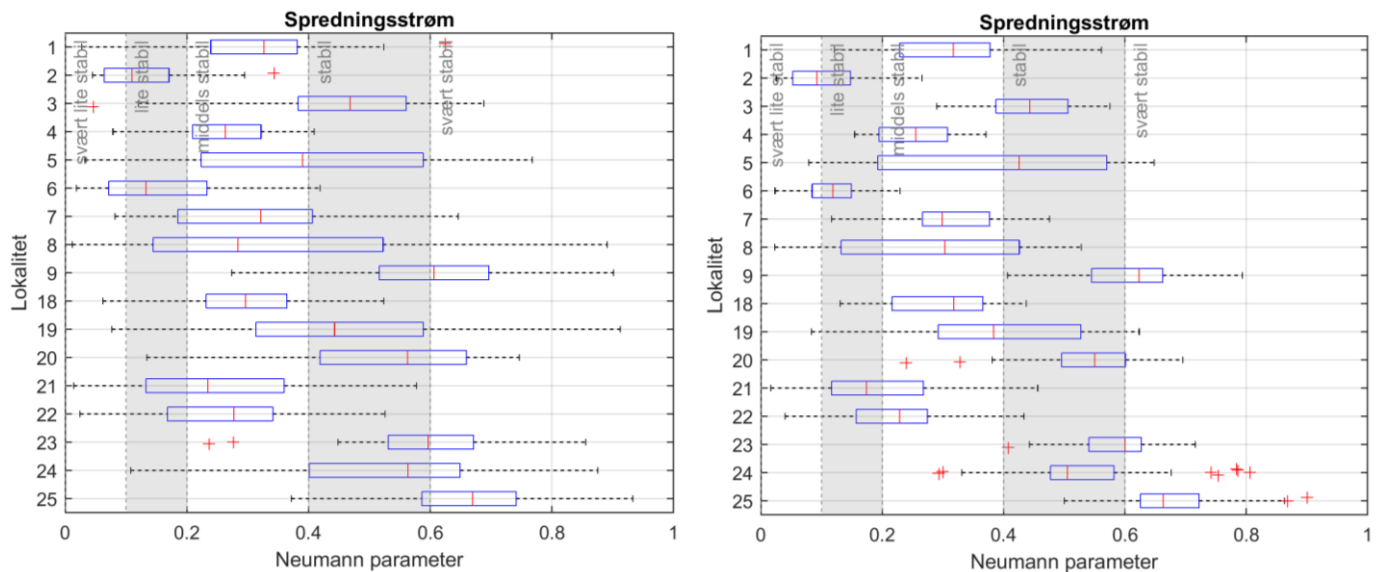
(a) 1 måned

(b) 3 måneder

Figur 12 Spredningsdyp: Spredning i nullmålinger basert på modelldata med 1 og 3 måneders varighet. I lysegrå indikeres strømklassifiseringen fra Åkerblå (2015).



Figur 13 Spredningsdyp: Spredning i prosentandel ≤ 3 cm/s basert på modelldata med 1 og 3 måneders varighet. I lysegrå indikeres strømklassifiseringen fra Åkerblå (2015).



Figur 14 Spredningsdyp: Spredning i Neumann-parameter basert på modelldata med 1 og 3 måneders varighet. I lysegrå indikeres strømklassifiseringen fra Åkerblå (2015).

4 Spørsmål C-F

4.1 Kostnader ved lengre målinger

For strømmålinger utover 4 uker er det i første omgang ekstra instrumentleie som må påregnes. Dette avhenger av instrumentvalg og riggoppsett, men vil typisk ligge i størrelsesorden 20-40.000 NOK/ måned for måling av vannutskiftingsstrøm, spredningsstrøm og bunnstrøm. Når man skal kombinere målinger for forundersøkelsen med målinger for NS 9415:2021 (med det nye kravet om å måle i minst 3 måneder), vil forskjellen i pris mellom enten å la alle instrumentene stå i 3 måneder (ekstra instrumentleie) eller å må dra å hente opp instrumenter i to omganger kunne være liten. Dette avhenger av reiseutgiftene. I slike tilfeller vil det medføre lite ekstra utgifter å måle ved alle dyp i 3 måneder.

Imidlertid vil nok forsinkelsen i søknadsprosessen være en oppdretters største bekymring. En eventuelt tapt lokalitet representerer en skjult men stor kostnad. Vi finner det derfor lite sannsynlig at noen aktører frivillig måler strøm for forundersøkelsen utover minimum påkrevd varighet. Det vil i så fall foregå ved at de aktuelle dataene hentes inn straks minimumsperioden er utløpt, for så å sette instrumentene ut igjen.

For målinger som varer mer enn 3-4 måneder bør man også påregne servicebesøk. Kostnaden knyttet til dette avhenger sterkt av lokalitetens beliggenhet og reisetiden til denne.

Det er en del aktører som allerede velger å gjennomføre både lengre og flere målinger av vannutskiftings-, bunn-, og spredningsstrøm i forbindelse med optimalisering av anleggets plassering og orientering. Dette er imidlertid målinger som utføres etter at lokaliteten er godkjent og tildelt aktøren. For en aktør kan det altså vise seg lønnsomt å investere mer tid og penger i innhenting av strømdata for å sikre best mulig vekstvilkår til fisken, samt å unngå begrensninger i biomasse på grunn av opphopning av organisk materiale under anlegget. Dette er faktorer som kan nevnes i en veileder. Vi vil imidlertid igjen påpeke at en høyoppløst strøm- og spredningsmodell – sammen med en strømmåling fra området - kan være mer kostnadseffektiv og mer nyttig enn flere strømmålinger i samme område.

4.2 Krav til eldre målinger

I utgangspunktet er det ingen grunn til at strømundersøkelser skal «gå ut på dato» ved uendret topografi. Imidlertid er det erfaringsmessig slik at det i tidligere år har vært mindre kunnskap rundt gjennomføring av strømmålinger i havbruksnæringen, noe som kan ha medført nedsatt kvalitet og/eller manglende dokumentasjon og metadata. Viktig metadata for strømmålinger er blant annet:

- Dokumentasjon av type instrument
- Dokumentasjon av kalibrering/vedlikehold av instrumentering
- Dokumentasjon av eksakt posisjon samt oppsett på målerigg og forankring
- Relevant informasjon om mulige påvirkninger på målingene (var det for eksempel et anlegg på lokaliteten)
- Trykkdata for å bekrefte at instrumentet sto på korrekt dyp, og ikke hadde for store neddykk ved sterk strøm
- Kvalitetssikring av data etter instrumentleverandørens anbefaling

Hvis strømmålingene er gjennomført med god kvalitet og dokumentasjon og topografien er uendret, vil eldre strømundersøkelser gi et like representativt bilde av strømmen i området som nyere målinger. Det vil også kunne være nyttig å slå sammen strømmålinger fra flere måleperioder.

For å sikre god dokumentasjon for framtidige vurderinger av strømdata, bør det vurderes om også strømmålinger for forundersøkelsen skal gjøres iht. NS 9425-1/2 (slik som NS 9415 krever).

4.3 Plassering av strømmålere

Ved valg av plasseringen av strømmåleren skal det tilstrebes at målestedet er representativt for hele anlegget. Strømbildet kan imidlertid variere mye over utstrekningen av en lokalitet, f.eks. på grunn av varierende bunntopografi eller kystlinje (deler av anlegget kan f.eks. stikke ut bak en øy eller lignende). Det er vanskelig å gi generelle råd rundt plassering av strømmålerne for forskjellige lokaliteter, da forventet strømbildet må vurderes for hver enkel lokalitet. For noen anlegg kan det være hensiktsmessig å måle på flere steder. I slike tilfeller bør man vurdere kostnadene av ekstra målinger opp mot kostnadene til høyoppløst modellering. En numerisk strømmodell kan i mange tilfeller være bedre egnet til å beskrive strømbildet på en lokalitet med komplekst strømningsbilde. Når en slik modell først settes opp, vil det også være aktuelt å videre benytte denne i evalueringen av potensielt nedslagsfelt og effekten som selve anlegget vil kunne ha på dette (Broch m. fl., 2020).

Det er i mange tilfeller hensiktsmessig og ønskelig å kombinere målinger for dimensjonerende strøm i henhold til NS 9415 med måling av vannutskifting, spredning og bunnstrøm. NS 9415 krever imidlertid at strømmålinger skal foretas der det vurderes at de høyeste strømhastighetene opptrer, noe som kan komme i konflikt med målet av forundersøkelsen da område med forventet maksimal strømhastighet ikke nødvendigvis samsvarer med område som best representerer spredningsretning og vannutskifting på lokaliteten. For lokaliteter uten nevneverdig strømgradient kan målinger for NS 9415 fint brukes som vannutskiftningsstrøm og kombineres med målinger av spredningsstrøm og bunnstrøm.

Som diskutert i kapittel 2 vil et utplassert anlegg påvirke strømmen i området. For strømmålinger som gjennomføres ved eksisterende anlegg bør dette tas hensyn til ved plassering av målere. Det er derfor også viktig at strømrapporten påpeker om det var et anlegg på stedet, hvilken konfigurasjon anlegget hadde og eventuell påvirkning det er ventet å gi.

4.4 Forskjellig måleteknikk

Det er gjennomgående høy kvalitet på strømmålere på markedet i dag. Sammenligninger viser at det stort sett er godt samsvar mellom både forskjellige produsenter og typer instrument (Drozdowski m. fl., 2010; 2013). De mest brukte instrumentene i dag er dopplermålere, enten profilerende eller punktmålere.

For å oppnå god kvalitet i dopplermålinger behøves god forståelse av målemetoden og instrumentene. Det er mange innstillinger (antall ping, midlingstid, celledørrelser, antall celler, valg av broadband/narrowband-teknologi) som påvirker måleresultatene og presisjon i målingene. Målinger under forskjellige fysiske forutsetninger (f.eks. bølgeforhold, forventede strømstyrker, ...) setter forskjellige krav til hva som er den mest hensiktsmessige oppsettet på instrumentet. Dopplermålere kan forstyrres av refleksjoner fra objekter i vannet samt av hverandre. Dette setter for eksempel begrensninger for plasseringen av målerne inne i merder. Profilerende dopplermålere har en rekkevidde som varierer med instrument (frekvens) og omgivelsene (partikler i vannet). I tillegg kan ikke profilerende dopplermålere måle de øverste 10-20 % av vannsøylen over seg. Med andre ord er det begrenset hvor nært overflaten man kan måle. Uavhengig av instrumentvalget så er

det viktig å ha god kontroll på instrumentriggen og forankringen av måleren, slik at man måler i korrekt dyp, unngår refleksjoner og har minst mulig bevegelse i instrumentet.

I all hovedsak er det altså brukernes kompetanse som bestemmer kvaliteten på strømmålingene som gjennomføres. Dette gjelder også kompetanse på utforming av rigg, forankring og oppdriftsenheter. Det er heller ikke nødvendigvis slik at en fastsatt praksis for hvordan instrumenter skal settes opp er fordelaktig. Videre har de forskjellige instrumentprodusentene noe forskjellige valgmuligheter og benevninger, noe som gjør at en omforent praksis kanskje ikke er mulig. Strømmålerteknologien er også stadig under utvikling.

Det er ingen begrensninger i dagens måleteknologi som forhindrer måling på større dyp. Alt etter behov kan det brukes flere instrumenter eller instrumenter med større rekkevidde for å dekke større deler av vannsøylen.

5 Diskusjon

For å gi råd rundt krav til strømmålinger i forbindelse med søknad og forundersøkelser, er det nødvendig å se på bruken av målingene.

Strømmålingene har i hovedsak følgende formål. De skal gi mulighet til å vurdere

1. lokalitetens bæreevne (tålegrense) for organisk belastning (inkl. plassering av overvåkningsstasjoner)
2. fiskevelferd (vannutskiftning og oksygentilførsel)
3. luse- og sykdomsspredning

Rapporten fokuserer i hovedsak på det første punktet. Det som bestemmer tålegrensen for organisk belastning, er hvordan organisk utslipp fra anlegget spres med strømmen og akkumuleres i nærheten av anlegget.

Partikkelspredning og påfølgende sedimentering styres av utslippsmengder (biomasse), partikkeltype (synkehastigheter), strømbildet og lokal bunntopografi. Strømbildet påvirkes av anlegget og dens oppsett (se kapittel 2, f.eks. orientering, antall bur, luseskjørt osv) samt fiskens bevegelser som setter opp en strøm.

Med typiske synkehastigheter av fôrspill og fekalier på 5-10 cm/s (Bannister et al (2016), Currie et al (2013)) synker de fleste partiklene til bunns i løpet av mindre enn 1-3 timer. Kun de minste partiklene med synkehastigheter på 1 cm/s eller mindre vil være i vannsøylen lenger enn en tidevannssyklus. Det betyr at en stor andel av partiklene vil transporteres og deponeres i den retningen strømmen setter ved utslippstidspunktet. På en tidevannspreget lokalitet kan man derfor ha en relativt lav verdi på Neumann-parameteren uten at dette nødvendigvis indikerer opphopning av organisk materiale under anlegget. Fôringstidspunktet kan påvirke spredningsmønsteret. Ved jevnt utslipp over tid vil størsteparten av partiklene transporteres i hovedretningen av vannutskiftnings- og spredningsstrøm mens de synker gjennom vannsøylen. I tillegg vil en del av partiklene også transporteres i andre retninger enn hovedretningen, dvs. de andre retningene i strømrøsen.

Selve sedimenteringen er avhengig av bunnstrømmen, som er veldig lokal. Partiklene forventes å sedimentere lettere i forsenkninger i terrenget og over dypere partier. Dersom det er sterk strøm ved bunn vil dette kunne bidra til at partiklene ikke sedimenterer eller sedimenterte partikler eroderes og transporteres videre.

Transport og sedimenteringen av partikler er en kompleks prosess. I dag gjøres plasseringen av overvåkningsstasjoner basert på subjektive vurderinger av strømrøsene fra månedsmålingene

På bakgrunn av spørsmålene som er diskutert i de foregående kapitlene blir det klart at strømmålingene er beheftet med usikkerhet, både på grunn av den variable naturen til strømmen i både rom og tid, påvirkning fra anlegget og eventuelle måletekniske effekter. Det er imidlertid ikke en av faktorene som skiller seg ut som drivende for denne usikkerheten og som enkelt kan løses ved å endre måleoppsettet.

Både lengre målinger og målinger i flere punkter vil gi en forbedret beskrivelse av strømmen på stedet. Denne forbedringen må vurderes opp mot den ekstra kostnaden og nytten for avgjørelsene som tas på bakgrunn av målingene. Kostnaden bør da også sammenholdes med kostnaden for høyoppløst hydrodynamisk modellering som vil både kunne beskrive strømmens variasjon i rom og tid og ta hensyn til anleggets påvirkning på strømbildet. Slik modellering kan også ta hensyn til flere

av prosessene under sedimentering og vil gi en mer objektiv beskrivelse av forventet spredningsmønster. Bruk av hydrodynamisk modellering blir mer og mer utstrakt. Modelldataen som er anvendt i denne studien er f. eks. åpent tilgjengelig og kan danne grunnlag for mer høyoppløst modellering.

Merk også at en del aktører allerede velger å gjennomføre både lengre og flere målinger av vannutskiftings-, bunn-, og spredningsstrøm i forbindelse med optimalisering av anleggets plassering og orientering.

6 Konklusjon

Rapporten gir en vurdering av kravene til strømmålinger som tas i forbindelse med forundersøkelsen. Basert på resultatene trekkes følgende hovedkonklusjoner:

1. Strømmålinger som foretas før etablering av anlegg vil overestimere strømhastigheten i vannutskiftningsdyp nedstrøms anlegget med typisk minst 20 %. Graden av overestimering avhenger av anleggskonfigurasjon, orientering, begroing, biomassen i merdene osv. For spredningsstrøm og bunnstrøm forventes det liten påvirkning på dype lokaliteter, mens det for grunne lokaliteter vil kunne være en akselerasjon under anlegget. Ved grunne lokaliteter er det derfor sannsynlig at målinger foretatt før etablering av anlegget vil kunne gi et feilaktig bilde av lokalitetens bæreevne. Vi anbefaler imidlertid å opprettholde kravet om måling i forkant av etablering. Vi anser nytteeffekten av å kreve ytterligere måling etter etablering som usikker og at denne vil være høyst variabel i forhold til hvordan de forskjellige faktorene over slår ut. Vi mener derfor at bevisstheten rundt de påvirkende faktorene i forbindelse med planlegging av lokalitetens utforming og utforming av overvåkingsprogram er av større betydning enn flere strømmålinger. I de fleste tilfeller vil en høyoppløst modellering av området være av større nytte og være mer kostnadseffektiv enn ytterligere strømmålinger etter anleggets etablering.
2. Strømmålinger med 1 måned varighet medfører en usikkerhet i resultatene. Med usikkerhet mener vi en forskjell i sentrale parametere i forhold til resultater fra målinger av lang varighet. Usikkerheten i resultatene reduseres når man øker måleperioden. En vurdering av forbedringen opp mot bruken til strømmålingene og typiske strømklassifikasjoner viser at det å øke måleperioden til 3 måneder har lite effekt. Vi anbefaler derfor å opprettholde kravet om målinger med 1 måneds varighet. Dersom vurderingene som gjøres basert på målingene er spesielt sensitive til de undersøkte parameterne, bør det tas hensyn til usikkerhetene som framkommer i Tabell 5 og lengre målinger bør vurderes.

Tabell 5 Treffsikkerhet av estimatene - 90 prosentil av differansen mellom estimatene basert på månedsmålinger og langtidsverdien for forskjellige parametere. 90 % av målingene er innenfor $\pm$ [verdien i tabellen] av langtidsverdien. pp. = prosentpoeng

Parameter	Vannutskiftning 15 m	Spredning	Bunn
Gjennomsnitt [cm/s]	2.3	1.7	1.4
Vektormiddel [cm/s]	3.5	1.7	1.4
Prosentandel nullmålinger [pp.]	1.1	4.1	4.7
Prosentandel ≤ 3 cm/s [pp.]	6.5	14.5	14.8
Prosentandel ≥ 30 cm/s [pp.]	3.3	0.4	0.2
Neumann []	0.3	0.3	0.3

3. Vi har blitt informert om at vurderinger av strømmålingene ofte gjøres på bakgrunn av forskjellige strømklassifikasjoner. Vi vil anbefale at det gjøres en gjennomgang av klassifiseringssystemet ved hjelp av et større utvalg av strømdata og med fokus på et eller flere definerte formål.
4. I dag gjøres plasseringen av overvåkingsstasjoner i all hovedsak basert på subjektive vurderinger av strømosene fra forundersøkelsen, selv om NS 9410 åpner for bruk av et egnet, validert modellverktøy for å angi anleggssonen og overgangssonen. Vi anbefaler at man i større grad vurderer bruk av høyoppløst hydrodynamisk modellering, som vil både kunne beskrive

strømmens variasjon i rom og tid, ta hensyn til anleggets påvirkning på strømbildet og kan ta hensyn til flere av sedimenteringsprosessene. På denne måten kan modellering gi en mer objektiv beskrivelse av forventet spredningsmønster. Månedsmålingene vil da kunne danne et godt grunnlag for validering av modeller.

5. Det er i dag lite krav rundt dokumentasjon av strømmålingene og noe uklare krav til kompetansen av de som gjennomfører strømmålinger for forundersøkelsen. For å sikre sporbarhet og god kvalitet anbefales det sette krav til gjennomføring av strømmålinger iht. NS 9425-1/2 på tilsvarende måte som NS 9415, samt at man stiller krav til kompetanse av de som gjennomfører strømmålingene.

7 Referanser

- Asplin, L., Albretsen, J., Johnsen, I. A., & Sandvik, A. D. (2020). The hydrodynamic foundation for salmon lice dispersion modeling along the Norwegian coast. *Ocean Dynamics*, 70(8), 1151–1167. <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01378-0>
- Bannister, R. J., Johnsen, I. A., Hansen, P. K., Kutti, T., & Asplin, L. (2016). Near- and far-field dispersal modelling of organic waste from Atlantic salmon aquaculture in fjord systems. *ICES Journal of Marine Science*, 73(9), 2408–2419. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw027>
- Bi, C. W., & Xu, T. J. (2018). Numerical study on the flow field around a fish farm in tidal current. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(5), 705–716. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v18_5_06
- Broch, O. J., Klebert, P., Michelsen, F. A., & Alver, M. O. (2020). Multiscale modelling of cage effects on the transport of effluents from open aquaculture systems. *PLoS ONE*, 15(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228502>
- Currie, J.J., Ratsimandresy, A.W., Mabrouk, G., Sheppard L., Drover & D., Losier, R. (2013) Validation of DEPOMOD for estimating carbon deposition from finfish farms on the south coast of Newfoundland: a tool for aquaculture site assessments, Canadian technical report of fisheries and aquatic sciences
- Dalsøren, S. B., Albretsen, J., & Asplin, L. (2020). New validation method for hydrodynamic fjord models applied in the Hardangerfjord, Norway. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107028>
- Eidnes, G., Borge, J., Berstad, A., Reed, J.-L., Walaunet, J. (2018). «NS 9415 – Strømprosjekt. Fastsettelse av ekstremstrøm». Sintef-rapport 2018:01257.
- Fiskeridirektoratet, Veileder for utfylling av søknadsskjema for tillatelse til akvakultur i flytende eller landbasert anlegg
- Hartstein, N. D., de Young, B., Anderson, M. R., & Maxey, J. D. (2021). Hydrodynamic implications in and around a caged finfish farm and its implications on the dispersal of farm debris. *Aquacultural Engineering*, 93. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102154>
- Jónsdóttir, K. E., Klebert, P., Volent, Z., & Alfredsen, J. A. (2021). Characteristic current flow through a stocked conical sea-cage with permeable lice shielding skirt. *Ocean Engineering*, 223. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108639>
- Klebert, P., Lader, P., Gansel, L., & Oppedal, F. (2013). Hydrodynamic interactions on net panel and aquaculture fish cages: A review. *Ocean Engineering*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2012.11.006>
- Klebert, P., & Su, B. (2020). Turbulence and flow field alterations inside a fish sea cage and its wake. *Applied Ocean Research*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102113>
- Mattilsynet, 2008: Retningslinje til behandling av søknader etter forskrift 17. juni 2008 nr. 823 om etablering og utvidelse av akvakulturanlegg, zoobutikker m.m.
- Multiconsult, 2018: NS9415 Strømprosjekt - Metoder for fastsettelse av ekstremstrøm
- NS 9410:2016: Miljøovervåking av bunnpåvirkning fra marine akvakulturanlegg

- NS 9415:2009: Flytende oppdrettsanlegg — Krav til lokalitetsundersøkelse, risikoanalyse, utforming, dimensjonering, utførelse, montering og drift
- NS 9415:2021: Flytende akvakulturanlegg — Lokalitetsundersøkelse, prosjektering, utførelse og bruk
- NS 9425-1:1999: Oseanografi - Del 1: Strømmålinger i faste punkter
- NS 9425-2:2003: Oseanografi - Del 2: Strømmålinger ved hjelp av ADCP
- Oppedal, F., Stien, L. H., Gansel, L., Klebert, P., Lader, P., Guenther, J., Remen, M., Aas, T. S., Aure, J., Torgersen, T., 2011, "Merdmiljø» *Havforskningsrapporten p. 28-30*
- Rådgivende Biologer, 2010, «Resipientundersøkelse i sjøområdene utenfor Marine Harvest Norway AS avd Salsbruket i Nærøy kommune sommeren 2010»
- Åkerblå, 2015, Strømklassifisering, Instrument: Aanderaa Doppler Profiler, Dato: Oktober 2015

Vedlegg A Validering av strømmodellen

Validering av strømmodellen NorFjord160 er gjort ved å sammenligne statistikk fra strømmålinger med tilsvarende statistikk fra strømmodellen. Det er gjort sammenligninger av data fra spredningsdyp og vannutskiftningsdyp (15 m). For spredningsdyp er statistikk fra månedsmålinger sammenlignet med statistikk fra NF160 for samme kalendermåned (se Tabell 6). For vannutskiftningsdyp er statistikk fra årsmålinger med 1-3 års varighet sammenlignet med statistikk fra hele modellperioden (se Tabell 7).

Figur 15 og Figur 16 viser strømroser fra vannutskiftningsdyp fra henholdsvis målinger og modell.

Sammenligningen viser generelt godt samsvar mellom modell og målinger, både med hensyn til retningsfordeling og hastighetsstatistikk. Maksimalverdier er som forventet litt høyere i modelldataene som dekker en lengre periode. Det er to lokaliteter som skiller seg litt ut (lokalitet 2 og 8). Ved lokalitet 2 viser målingene sterkere strøm enn modellen, mens det ved lokalitet 8 er motsatt.

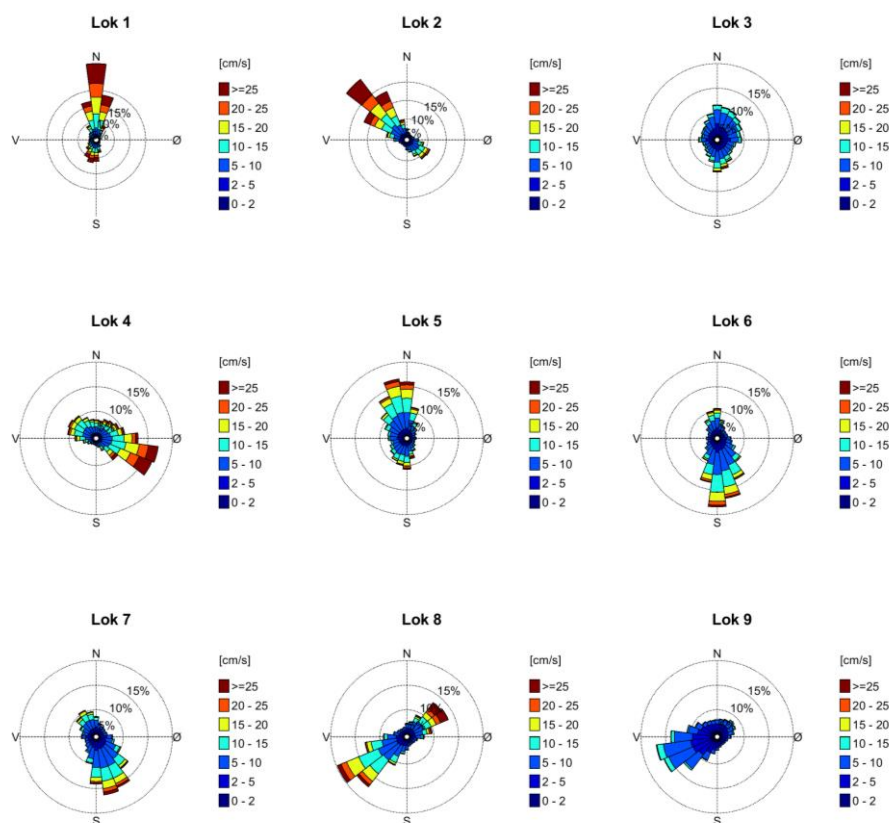
På bakgrunn av det gode samsvaret mellom modell og målinger, anses modellresultatene som godt egnet til å adressere spørsmålet om representativiteten av korte målinger for strømbildet.

Tabell 6 Validering av spredningsstrøm fra modellen. Tatt ut relevant månedlig statistikk fra NF160. Merk at månedlig statistikk fra NF160 baseres på 3 år med data.

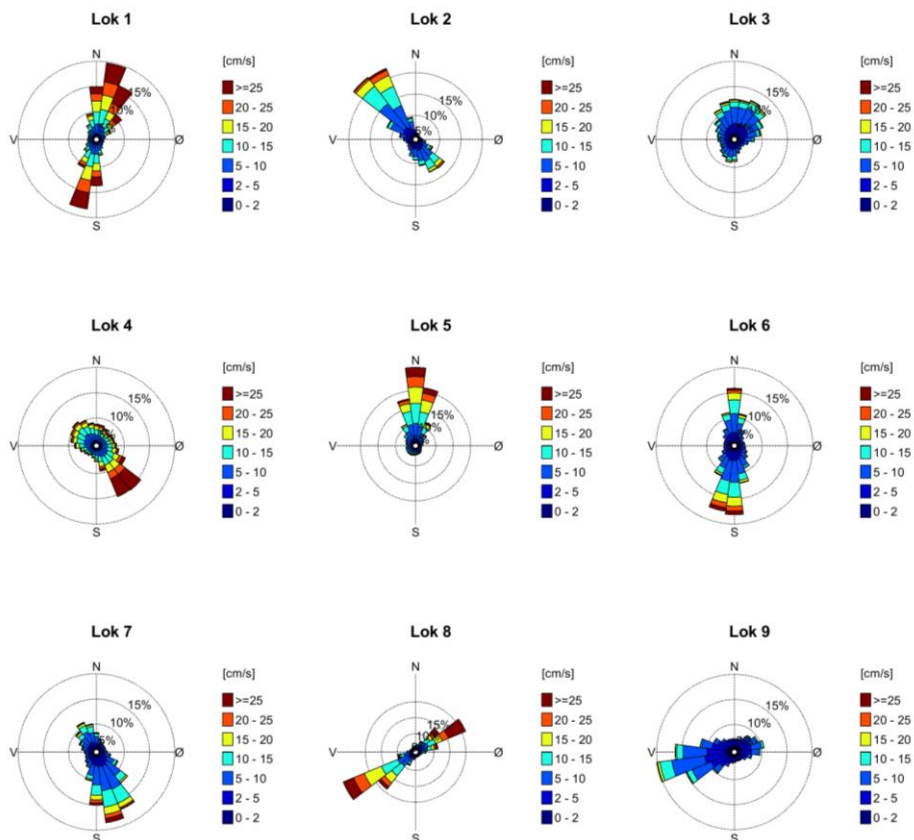
		Gjennomsnitt [cm/s]	Std [cm/s]	95 prosentil [cm/s]	Maksimum (måned) [cm/s]	Nullmålinger [%]
Lok 1 Februar	Måling	14	8	29	53	0.7
	Modell	14	10	34	61	0.7
Lok 3 November	Måling	3	2	7	13	8.8
	Modell	4	3	11	22	8.2
Lok 18 Februar	Måling	6	4	12	26	2.7
	Modell	5	3	11	26	4.1
Lok 19 Januar	Måling	10	6	22	35	1.6
	Modell	8	5	17	44	2.1
Lok 20 Juli	Måling	5	4	-	21	5.1
	Modell	5	4	12	18	6.5
Lok 21 Juni	Måling	3	2	-	15	10.1
	Modell	5	4	12	34	6.8

Tabell 7 Validering av vannutskiftningsstrøm. Merk at statistikk fra NF160 baseres på 3 år med data, mens strømmålingene varer mellom 1 og 3 år

		Gjennomsnitt [cm/s]	Std [cm/s]	95 prosentil [cm/s]	Maksimum [cm/s]	Nullmålinger [%]
Lok 1	Måling	16	9	33	63	0.6
	Modell	15	10	33	87	0.7
Lok 2	Måling	13	10	33	78	1.7
	Modell	8	5	19	48	2.2
Lok 3	Måling	7	4	15	40	2.9
	Modell	7	5	16	47	2.4
Lok 4	Måling	13	8	28	70	0.7
	Modell	14	10	33	97	0.6
Lok 5	Måling	9	6	21	58	1.7
	Modell	11	7	25	76	0.8
Lok 6	Måling	8	5	19	44	2.4
	Modell	8	6	20	54	2.7
Lok 7	Måling	8	6	19	54	2.3
	Modell	8	6	19	95	2.1
Lok 8	Måling	10	8	25	61	2.1
	Modell	14	11	35	107	1.1
Lok 9	Måling	5	3	10	27	4.1
	Modell	5	3	12	28	5.5

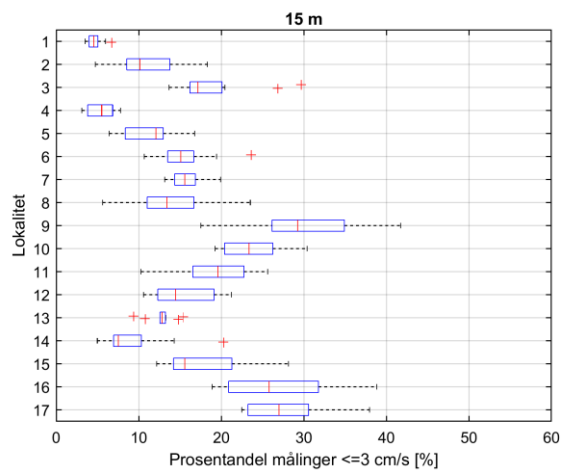


Figur 15 Strømroser for lokalitet 1 til 9 fra målinger

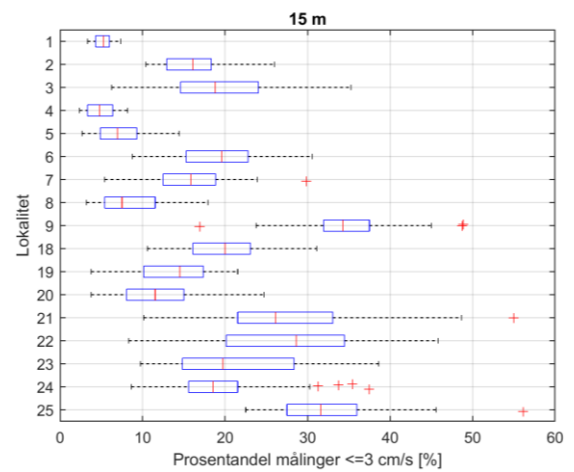


Figur 16 Strømroser for lokalitet 1 til 9 fra NF160

Vedlegg B Flere figurer - varighet av målinger

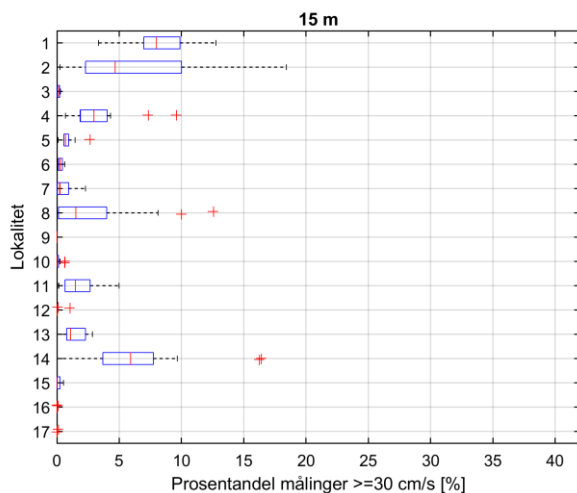


(a) Fra målinger

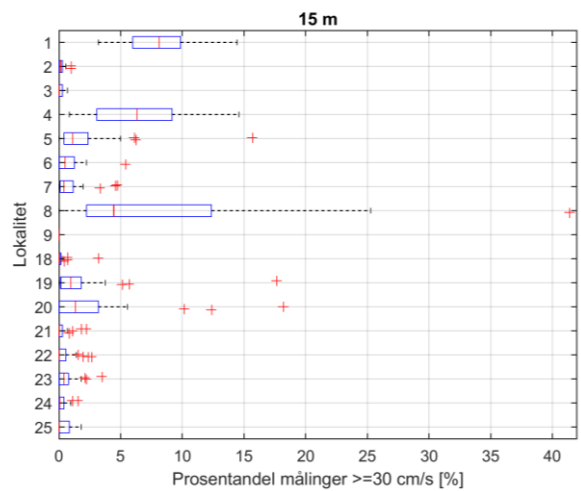


(b) Fra NF160

Figur 17 Vannutskiftningsstrøm: Spredning i prosentandel målinger ≤ 3 cm/s basert på 1 måneds perioder

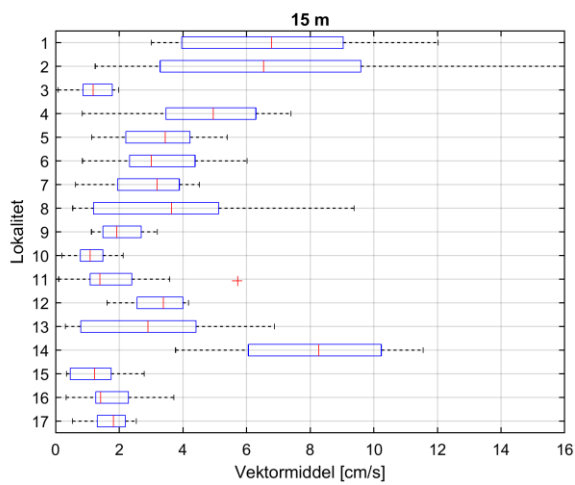


(a) Fra målinger

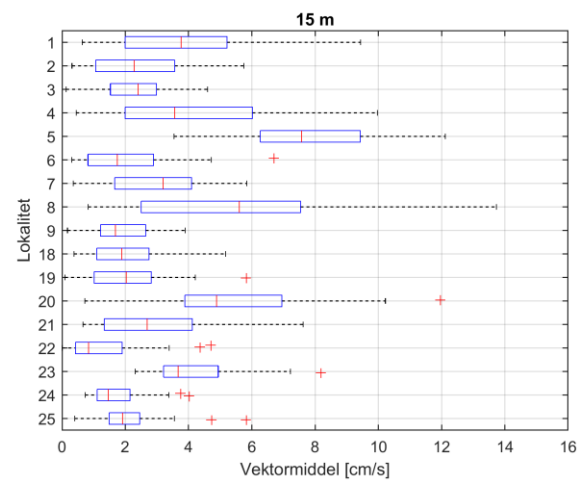


(b) Fra NF160

Figur 18 Vannutskiftningsstrøm: Spredning i prosentandel målinger ≥ 30 cm/s basert på 1 måneds perioder



(a) Fra målinger



(b) Fra NF160

Figur 19 Vannutskiftningsstrøm: Spredning i vektormiddel basert på 1 måneds perioder