

Notat

Mottaker: Oddvar Kjekstad, Turid Knutsen
Utarbeidet av NIVA v/: André Staalstrøm og Øyvind Tangen Ødegaard
Kvalitetssikret av: Anette Engesmo
Journalnummer: 0315/24
Prosjektnummer: 240077
Distribusjon: Åpen

26.12.2024

Sak: Engekilprosjektet – sluttrapport 2024

Bakgrunn

Engekilen er den innerste delen av Bufjorden i Grimstad kommune. Bufjorden ligger midt imellom Grimstad og Lillesand og er 54 m dyp på det dypeste. Bunntopografien i Engekilen var ikke oppmålt før det ble utført av NIVA i 2023. Det dypeste punktet i kilen er på 9 m og er rett innenfor innløpet mens kilen ellers er grunn (se Figur 1 og Figur 2).



Figur 1: Området rundt Engekilen. Bunntopografien i kilen vises som en et grått felt på kartet, siden den ikke var oppmålt før dette prosjektet. De røde punktene viser hvor det i dette prosjektet har blitt tatt vannprøver i overflatelaget fra mars til november. Kart er hentet fra kystinfo.no. Torungen fyr som omtales i dette notatet ligger 22 km nord-øst for Engekilen.

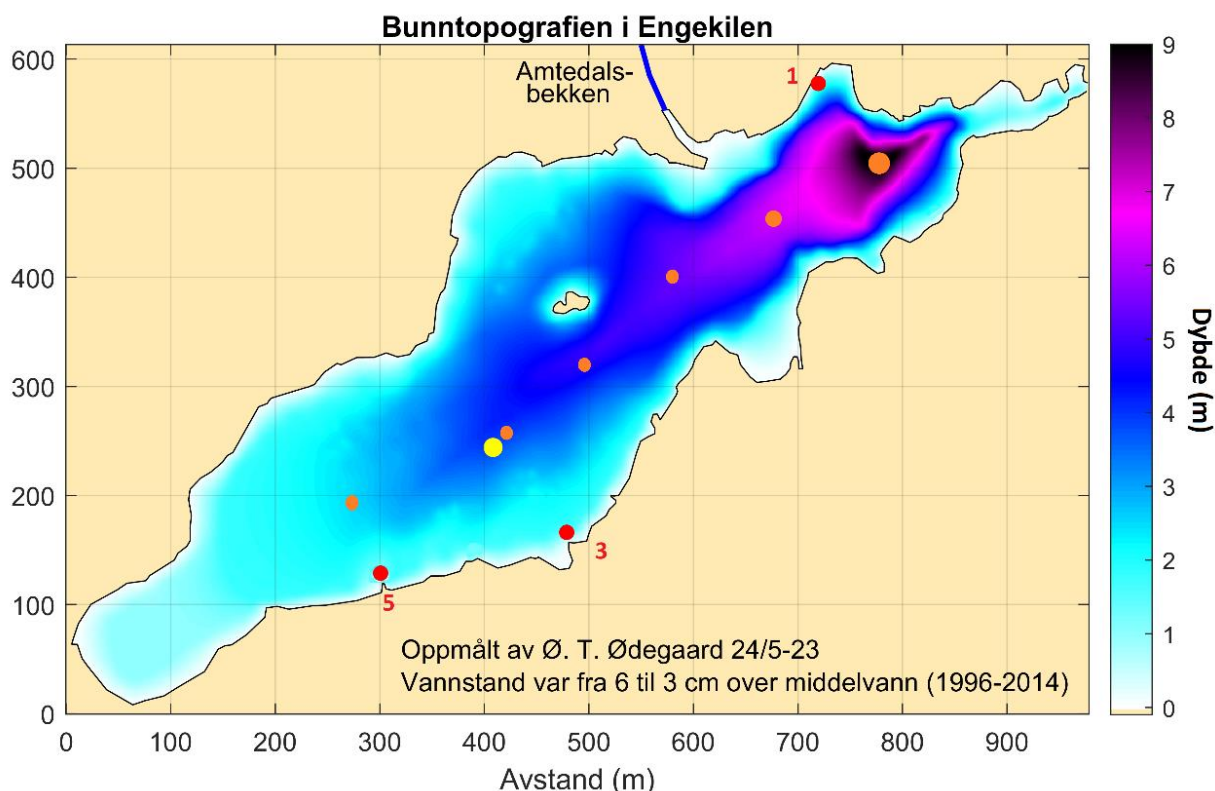
Innløpet til Engekilen fra Bufjorden er smalt og grunt. Bredden målt fra kystinfo.no er mellom 6-8 m. Oppmålt dybde i sundet er 1,2 m. Undersøkelser på sommeren har vist at Engekilen er tydelig preget av flekkvis flytende algematter langs strandlinjen. Mattene er tettere innerst i kilen, og bunnsedimentet er svart, stinkende, løst og dødt. I strandsonen ligger det ofte store ansamlinger av døde hjertemuslinger, samt et rosa bakteriebelegg ut mot en tett vegetasjon av havgras (Christie & Rinde, 2000). I dette notatet blir algemattene som består av opportunistiske trådformede og ettårige alger, omtalt som «lurv».

Foreningen For Engekilens Vel søkte om midler fra Miljødirektoratet for å gjennomføre et prosjekt for å videreføre Engekilprosjektet fra 2023. Prosjektet har også i 2024 vært et folkeforskningsprosjekt hvor medlemmer av Foreningen For Engekilen Vel har bidratt i svært stor grad med innsamling av data. NIVA har stått for nødvendig utstyr, analyse av prøver, modellering og rapportering.

Prosjektet i 2024 har bestått av sju deler:

1. Kartlegging av lurv
2. Vannprøver i overflaten fra mars til november
3. Profilmålinger i juni, juli og august
4. Temperaturmålinger i overflaten
5. Klassifisering av økologisk tilstand
6. Modellering av lurv
7. Vurdering av tiltak

I Figur 2 vises bunntopografien i Engekilen hvor de forskjellige målepunktene er tegnet inn.



Figur 2: Bunntopografien i Engekilen oppmålt 24. mai 2023. Fargeskalaen viser vandedybden og det dypeste punktet var 9,3 m. Ved det røde punktet markert med «1» ble det samlet inn vannprøver. De røde punktene markert «3» og «5» er stasjoner hvor det ble kartlagt forekomst av lurv. Ved det gule punktet var det utplassert en temperaturlogger. Vannprøver ble tatt ved det dypeste punktet i kilen (Stasjon Eng1, stort oransje punkt). Ved en anledning ble det også tatt CTD målinger ved de andre oransje punktene.

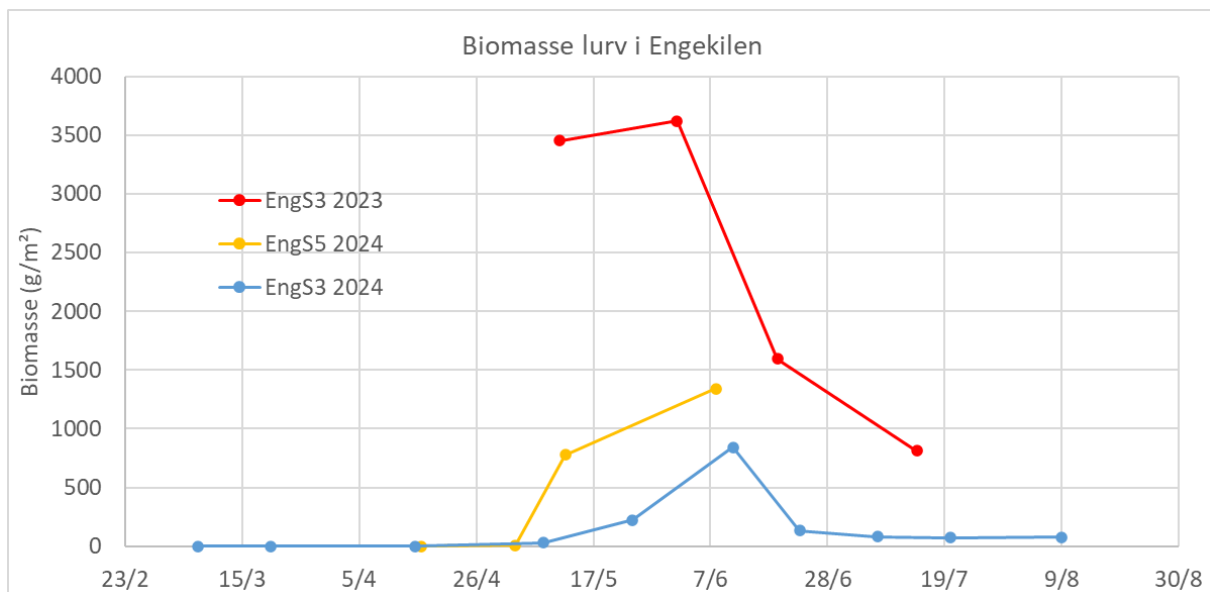
1. Kartlegging av lurv

I 2024 ble biomassen til lurv kartlagt på to stasjoner EngS3 og EngS5 (se Figur 2). Dette ga nyttige dataserier som gjør det mulig å kalibrere en modell for lurv. På hver av de to posisjonene ble det samlet inn lurv ved hjelp av en metallramme på 50x50 cm. Ved hvert besøk på hver lokasjon ble rammen brukt til å avgrense tre arealer (tre replikater) der alt organisk materiale fra overflate til bunn ble samlet inn. Vannet ble presset ut og prøven veid. Resultatet er vist i Tabell 1 hvor resultatet er multiplisert med fire for å få biomasse per kvadratmeter.

Tabell 1: Resultat fra innsamling av biomasse av lurv i 2024.

Dato	Stasjon3 Replikat1 (g/m ²)	Stasjon3 Replikat2 (g/m ²)	Stasjon3 Replikat3 (g/m ²)	Stasjon3 Gjennomsnitt (g/m ²)
07.03.2024	0	0	0	0
20.03.2024	0	0	0	0
15.04.2024	0	0	0	0
08.05.2024	24	32	40	32
24.05.2024	212	228	224	221
11.06.2024	832	840	852	841
23.06.2024	152	132	116	133
07.07.2024	56	84	104	81
20.07.2024	108	56	52	72
09.08.2024	76	56	100	77
Dato	Stasjon5 Replikat1 (g/m ²)	Stasjon5 Replikat1 (g/m ²)	Stasjon5 Replikat1 (g/m ²)	Stasjon5 Gjennomsnitt (g/m ²)
16.04.2024	0	0	0	0
03.05.2024	0	28	0	9
12.05.2024	560	40	1740	780
08.06.2024	0	620	3408	1343

Resultatene fra tabellen er plottet opp i Figur 3 sammen målingene fra stasjon EngS3 fra 2023. I 2023 ble det målt over 3,5 kg per kvadratmeter, mens det på samme stasjon kun ble målt 0,8 kg/m². Det var altså betydelig mer lurv i 2023 enn i 2024 (ca. fire ganger så mye). Dette viser allerede etter kun to år med overvåkning at det er store forskjeller mellom år. Det fine med måleserien fra EngS3 i 2024 er at den fanger opp hele utviklingen gjennom sesongen. Vi skal i dette notatet prøve å gi noen forklaringer på hvorfor det er såpass stor forskjell i mengden lurv i 2023 og 2024, men vi vil allerede nå påpeke at det mangler informasjon om mange viktige aktører i økosystemet. Vi har ikke overvåket hverken planteplankton eller små dyr som beiter på lurv.



Figur 3: Sammenligning av utviklingen av lurv i 2023 og 2024.

I tillegg til tidsseriene vist i figuren over, var det plassert ut et kamera som tok et oversiktsbilde av Engekilen tre ganger per døgn. Hensikten med dette kameraet var å få et bilde av arealutbredelsen av lurvemattene som vanligvis legger seg innerst i Engekilen. I 2024 var algemattene hovedsakelig tett opp til land, og det har ikke vært mulig å anslå arealutbredelsen av dette fra bildene. Bildeserien er viktig dokumentasjon for utbredelse av lurv i 2024, og vil kunne sammenlignes med situasjonen i kommende år. Et utvalg av disse bildene er vist i Figur 22 til Figur 29.

Medlemmer av Foreningen for Engekilen Vel observerte at det var vedvarende vind fra sørvest i perioden etter at det var mest lurv i juni 2024, og det ble observert at lurvematter ble fraktet ut av kanalen med vinden. I samme periode ble det observert lurvematter f.eks. i Fossdalkilen hvor denne vindretningen gjorde at lurv samlet seg opp her. Dette tyder på at vinden er en veldig viktig faktor for forekomst av lurv. Denne effekten er det ikke tatt høyde for i modellen for lurv som presenteres i dette notatet.



Figur 4: Bilde av indre del av Engekilen ved maksimal utbredelse av lurv 13. juni 2024.

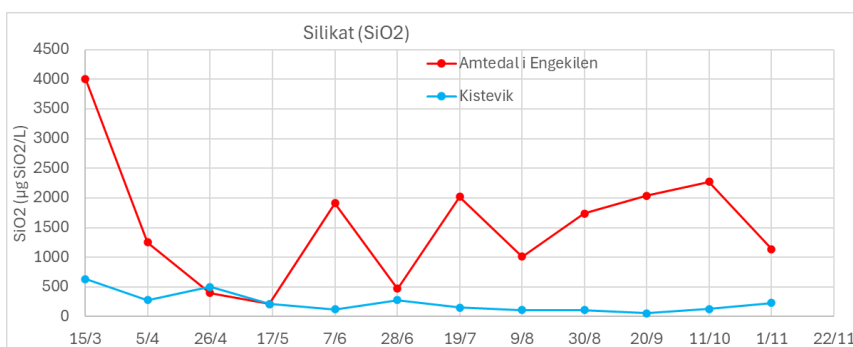
2. Vannprøver i overflaten fra mars til november

I Figur 5-Figur 8 vises målinger i overflaten inne i Engekilen ved Amtedal (rød kurve) og i Kistevika (blå kurve). Først vises silikat (Figur 5) og ammonium (Figur 6). Det ble benyttet følgende formel for å beregne løst uorganisk nitrogen (DIN) og fosfor (DIP):

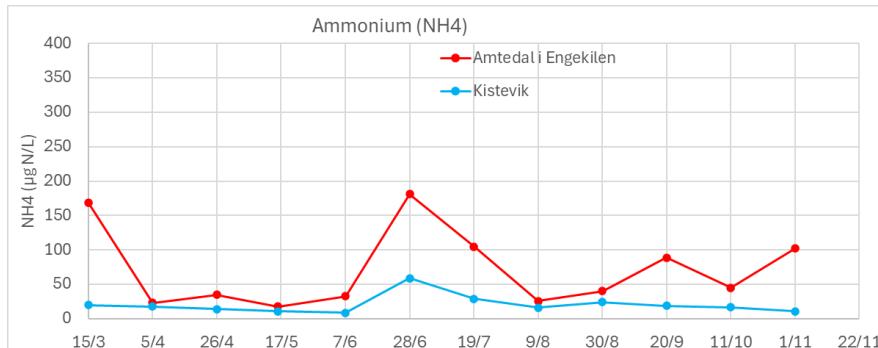
$$\text{DIN} = \text{NH}_4 + \text{NO}_3 + \text{NO}_2$$

$$\text{DIP} = \text{PO}_4$$

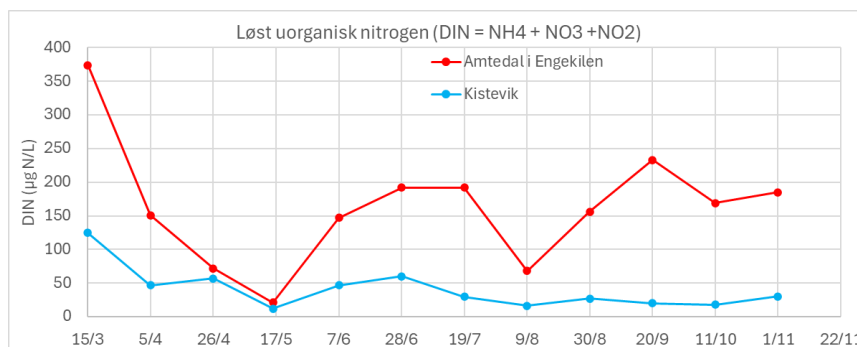
Disse to parameterene er vist i Figur 7 og Figur 8. Det er betydelig mer næringssalter i Engekilen. I noen tilfeller er det mer fosfat i Kistevik enn i Engekilen. Konsentrasjonene i Engekilen svinger veldig opp og ned, og en årsak til dette kan være at overflatelaget i Engekilen tilføres næringssalter nedenfra.



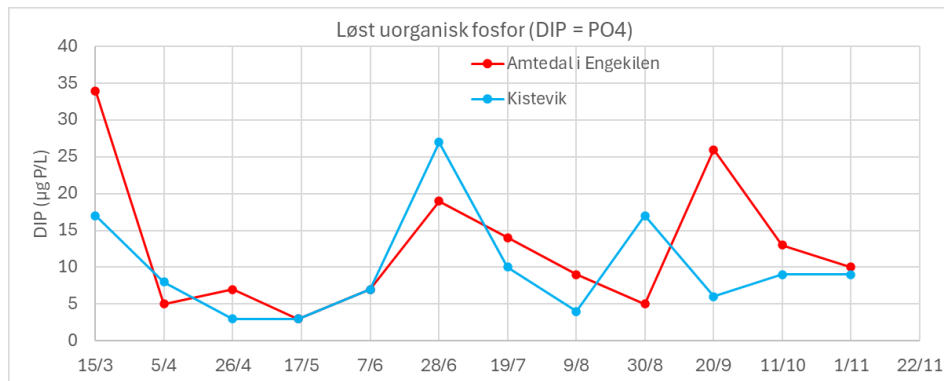
Figur 5: Silikat analysert hver tredje uke på stasjon Amtedal inne i Engekilen (rød kurve) og ved Kistevik på utsiden (blå kurve).



Figur 6: Ammonium analysert hver tredje uke på stasjon Amtedal inne i Engekilen (rød kurve) og ved Kistevik på utsiden (blå kurve).

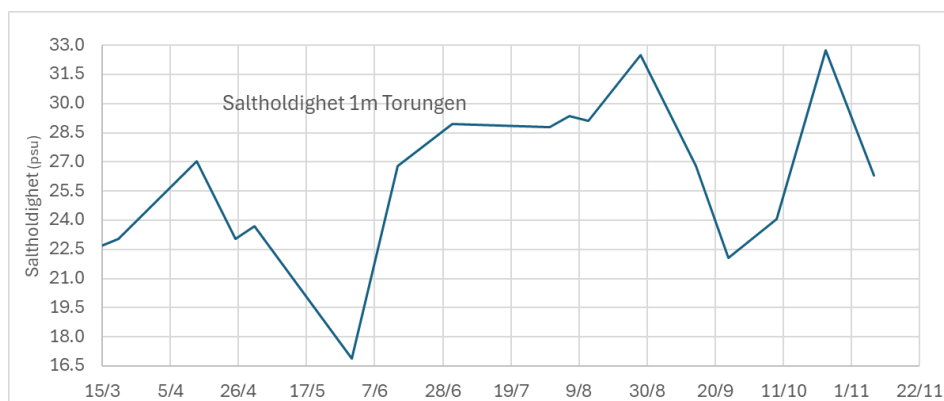


Figur 7: Løst uorganisk nitrogen (DIN = NO₃+NO₂+NH₄) på stasjon Amtedal inne i Engekilen (rød kurve) og ved Kistevik på utsiden (blå kurve).

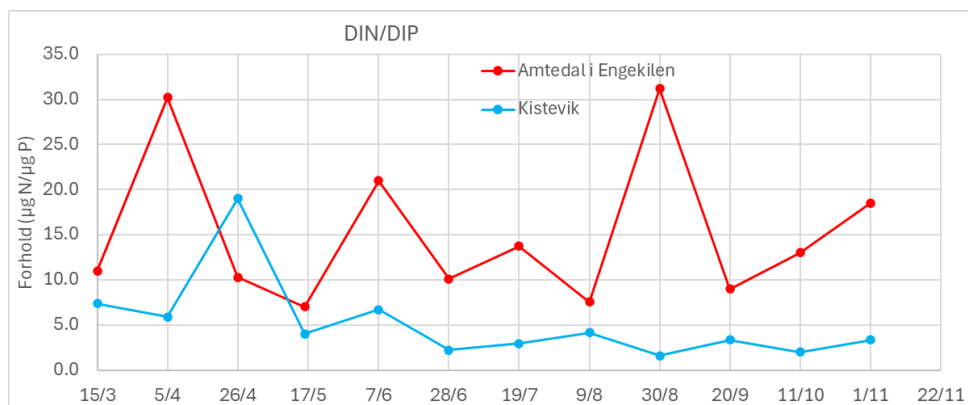


Figur 8: Løst uorganisk fosfor (DIP = PO₄) på stasjon Amtedal inne i Engekilen (rød kurve) og ved Kistevik på utsiden (blå kurve).

I Figur 9 vises saltholdighet målt i overflaten ved Torungen fyr som ligger 22 km nordøst for Engekilen. I forkant av høye målinger av fosfat både i Kistevika og i Engekilen den 28. juni, økte saltholdigheten brått i kystvannet. Dette tyder på oppstrømning av vann fra dypere lag i kyststrømmen, og dette kan forklare at mengden fosfat øker. Dette betyr at den høye konsentrasjonen fosfat målt i Engekilen i juni mest sannsynlig stammer fra kystvannet. I september ble det målt enda høyere verdier av fosfat i Engekilen, og i forkant av dette økte også saltholdigheten i overflaten i kystvannet, som tyder på oppstrømning av vann fra dypet. Men i dette tilfellet var saltholdigheten i kystvannet høyere enn 31,5, som er høyere enn saltholdigheten i dypet i Engekilen. Dette betyr at det kan ha vært en dypvannsfornyelse i Engekilen.



Figur 9: Saltholdighet i overflaten ved Torungen fyr.



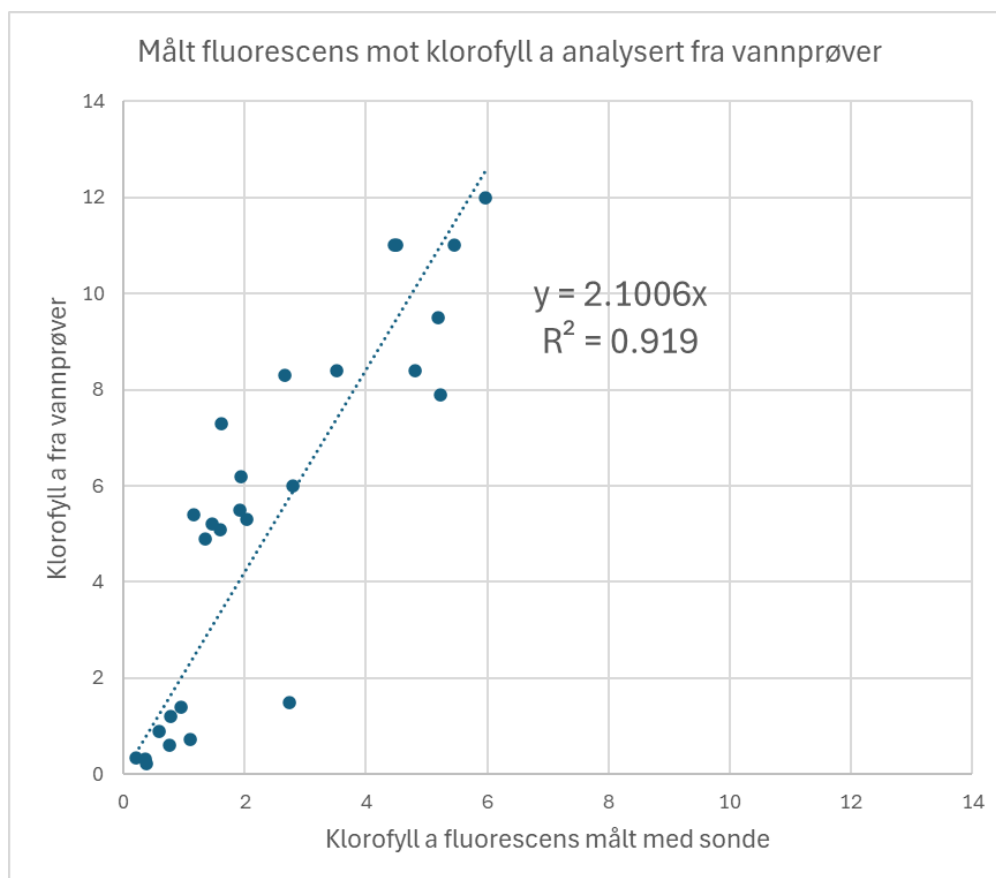
Figur 10: Forholdstallet mellom løst uorganisk fosfor og løst uorganisk nitrogen på stasjon Amtedal inne i Engekilen (rød kurve) og ved Kistevik på utsiden (blå kurve).

I Figur 10 vises forholdstallet mellom nitrogen og fosfor. I vannmassen er forholdstallet målt i μg mellom DIN og DIP 15.2 i gjennomsnitt inne i Engekilen, mens den er 5.2 på utsiden. De tilsvarende molare forhold mellom N og P er 33.7 inne i kilen og 11.5 utenfor. Redfield (1934) fant at i planteplankton er det molare forholdstallet mellom N og P 16. Dette antyder at i Engekilen er algevekst begrenset av fosfor (det er lite fosfor i forhold til nitrogen), mens ute ved Kistevika er algevekst begrenset av nitrogen (det er lite nitrogen i forhold til fosfor). Når det er overflod av nitrogen inne i Engekilen, så vil enhver tilførsel av fosfor kunne gi ytterligere algevekst. Siden det er tilførsel av fosfor fra dypvannet i Engekilen, så vil dette gi grunnlag for stor forekomst av alger i Engekilen.

3. Profilmålinger i juni, juli og august

I løpet av sommeren 2024 ble det tatt profiler i Engekilen den 28. juni, 18. juli og 21. august. Det ble brukt en CTD sonde som målte temperatur, saltholdighet, oksygen og klorofyll-a-fluorescens. Fra temperatur og saltholdighet kan vannets tetthet beregnes. Klorofyll-a-fluorescens er et optisk mål på hvor mye planteplankton det er i vannmassen. Klorofyll-a-fluorescens er en annen parameter enn klorofyll-a. Klorofyll-a er en kjemisk analyse som måler mengden fotopigment i prøven, mens klorofyll-a-fluorescens optisk måler energitapet i primærproduksjonen. De to parameterne er sterkt korrelert, men det kan være store forskjeller og de kan ikke brukes om hverandre.

Den samme sonden som ble brukt i Engekilen i juni og juli har blitt sammenlignet med vannprøver som har blitt tatt far 0-2 m dyp i Indre Oslofjord i Figur 11. Sonden gir lavere verdier enn det en får fra vannprøver. I dette notatet har vi multiplisert klorofyll a målt med sonde med en faktor 2.1.



Figur 11: Sammenligning av klorofyll a analysert fra vannprøver (y-aksen) og fra sonde (x-aksen).

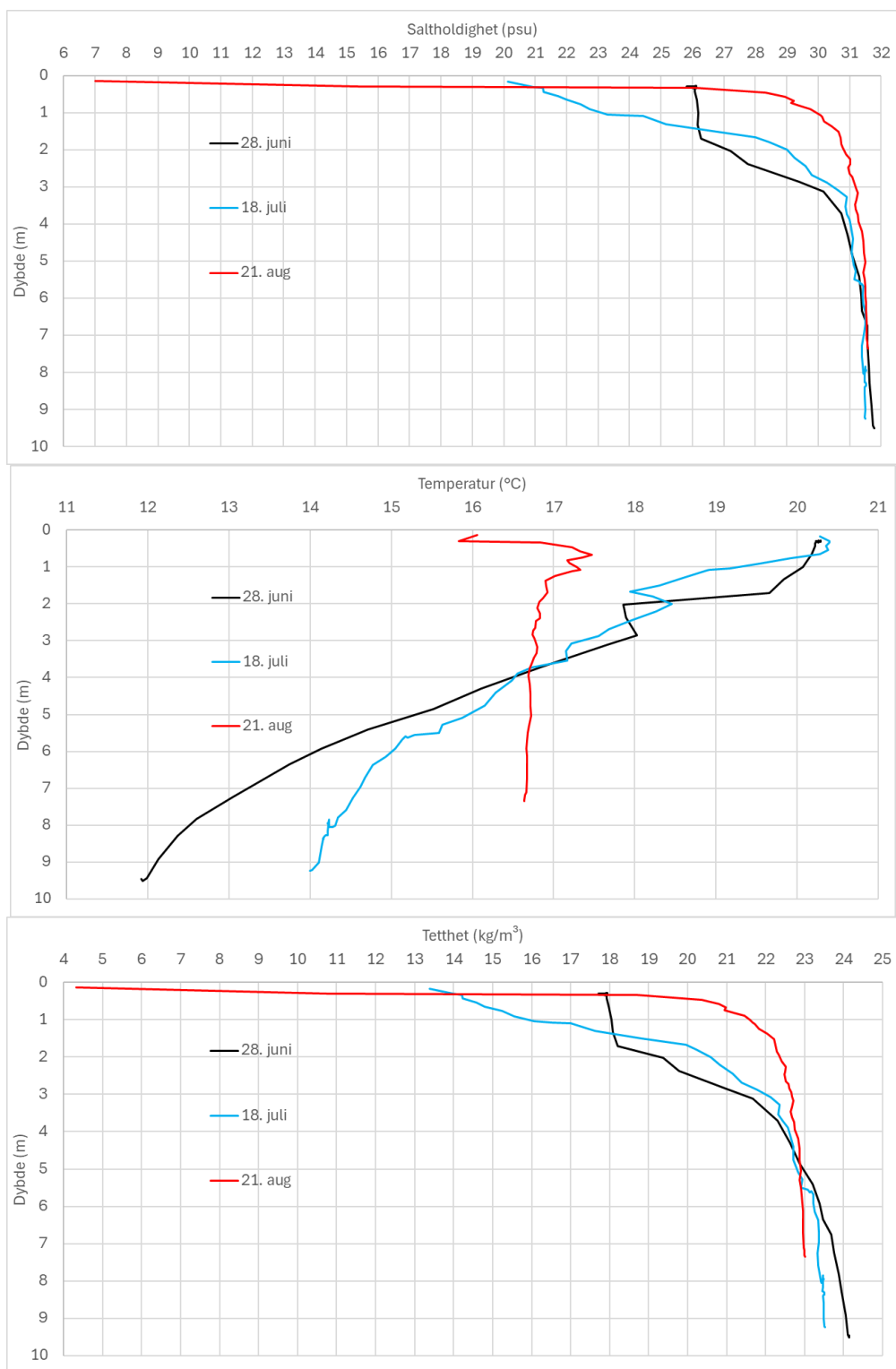
I Figur 12 vises saltholdighet, temperatur og tetthet på det dypeste punktet i Engekilen.

I løpet av sommeren ble temperaturen i dypet stadig varmere. I august var temperaturprofilen nesten lik fra overflate til bunn, bortsett fra et tynt lag i overflaten hvor det var litt kaldere. Dette kan skyldes at varmen i overflaten blandes nedover i dypet pga. det som kalles vertikal turbulent diffusjon, men den homogene profilen kan også være et tegn på at vannmassene har blitt veltet om av en dypvannsfornyelse. En dypvannsfornyelse vil si at det har kommet inn nytt vann fra utsiden som er tungt nok til å presse opp vannet i dypet.

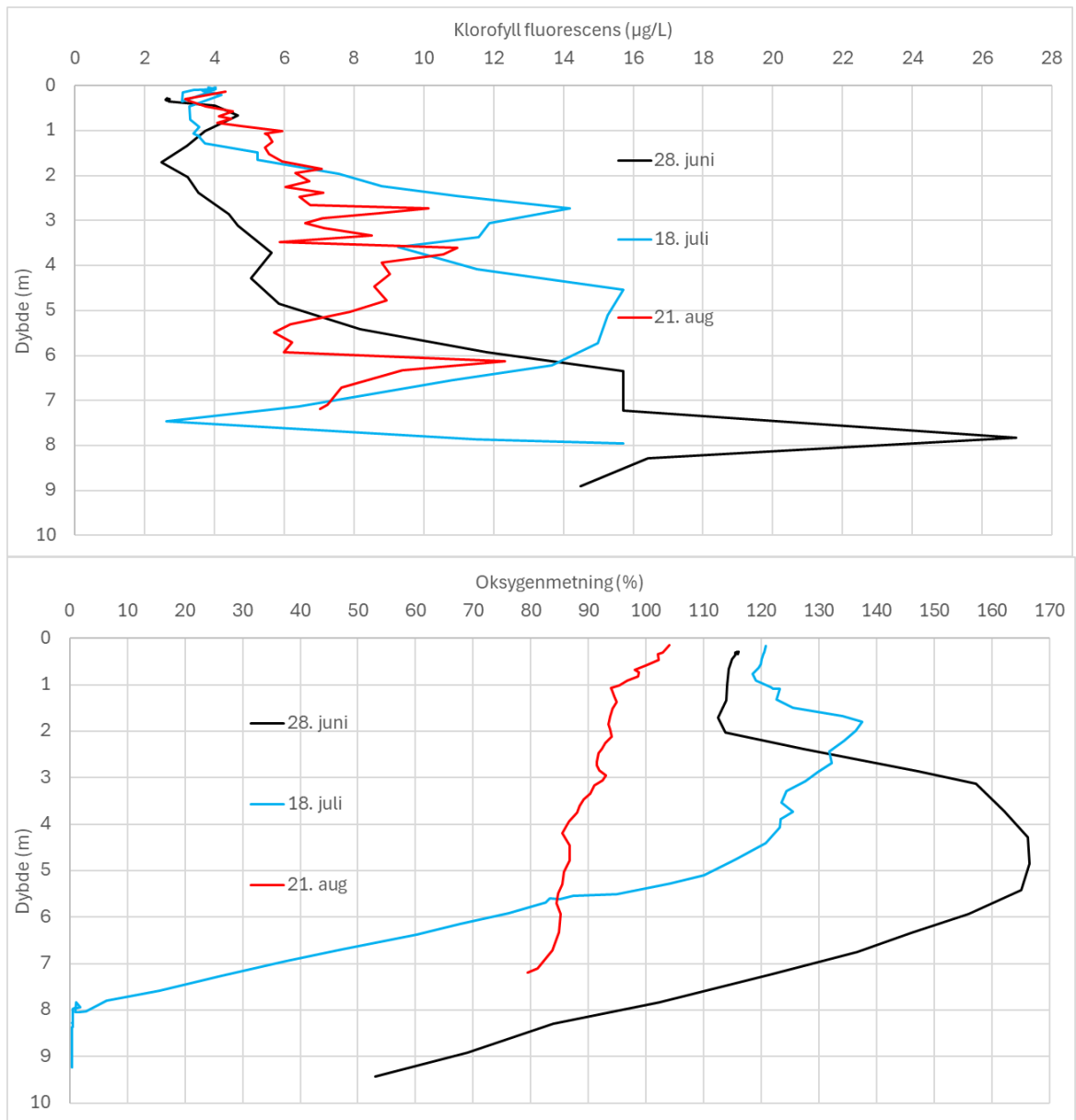
Saltholdigheten i dypet holder seg på et relativt konstant nivå. På 7.5 m var saltholdigheten 31.6 psu i juni, 31.4 psu i juli og 31.6 psu igjen i august. Tettheten i dypet ble mindre og mindre i løpet av sommeren.

I Figur 13 vises profiler av oksygenmetning og klorofyll-a-fluorescens. Oksygenmålingene tyder på at dypvannet var stillestående fra 28. juni til 18. juli og at oksygenet ble brukt opp på grunn av nedbrytning av organisk stoff, helt til det var helt oksygenfritt fra 8 m og dypere. I løpet av perioden 18. juli til 21. august må det ha kommet inn oksygenrikt vann. Dessverre ble det bare tatt målinger ned til 7 m, men oksygenmetningen var på 80% i august, mens den bare var på 30% i juli.

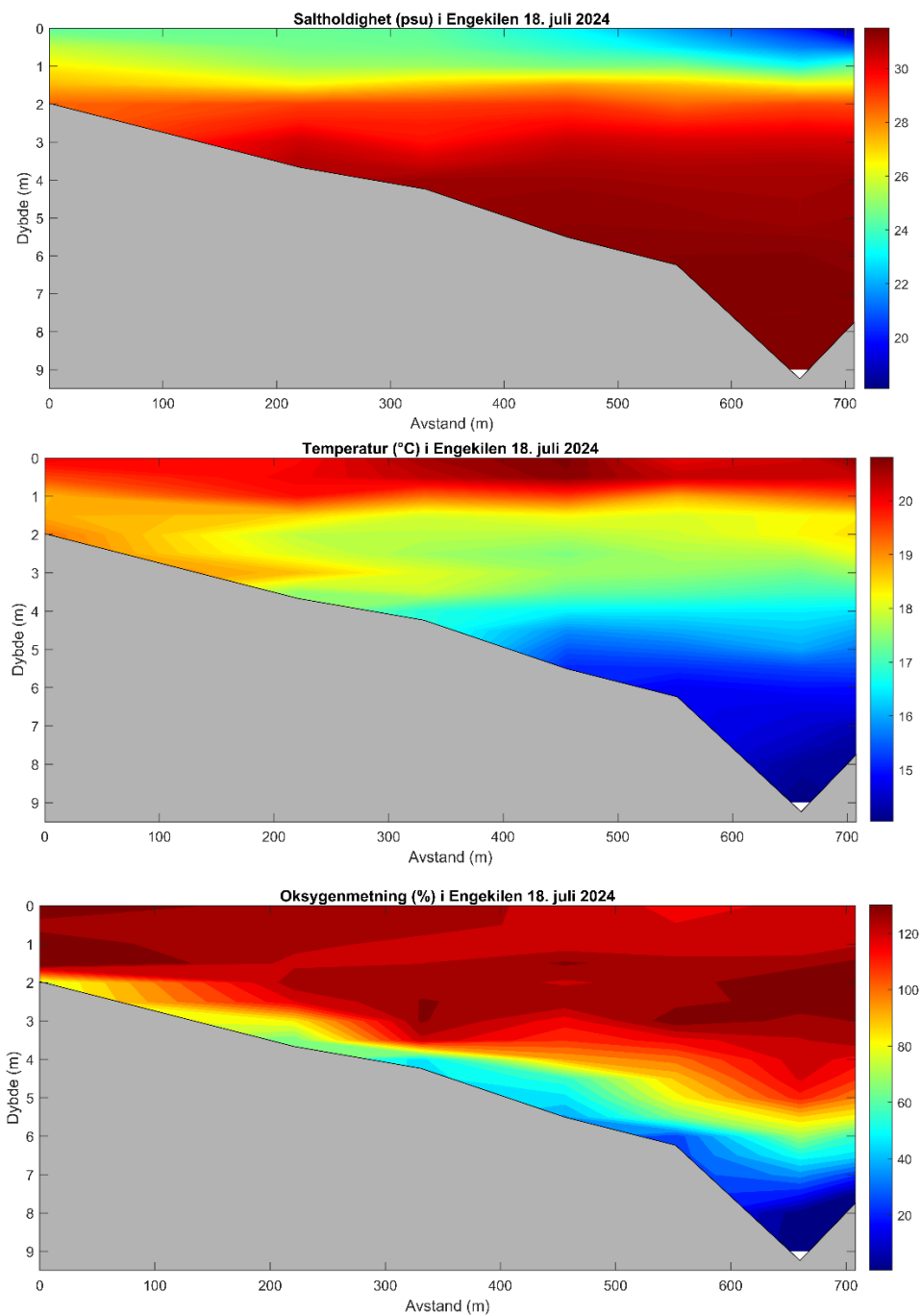
Det var mye planteplankton i Engekilen. Fluorescensen tyder på at det er mest plankton under 2-3 m dyp, og den er to til fire ganger høyere i 5 m dyp sammenlignet med verdien i overflaten. Her har vi ikke tatt hensyn til at faktoren mellom klorofyll fra vannprøver og fra sensor kan være mindre dypere ned hvor det er mindre lys. Planteplankton produserer oksygen ved fotosyntese og gir overmetning av oksygen i store deler av vannsøylen. Det at oksygenmetningen er lavere enn 100% i hele vannsøylen den 21. august tyder på at det har vært en omveltning av vannmassene, og at det overmettede vannet er blandet med det oksygenfattige bunnvannet.



Figur 12: Profiler tatt med CTD på det dypeste punktet i Engekilen ved tre anledninger sommeren 2024. Øverst vises saltholdighet, i midten temperatur og nederst tetthet.



Figur 13: Profiler tatt med CTD på det dypeste punktet i Engekilen ved tre anledninger sommeren 2024. Øverst vises klorofyll-*a*-fluorescens (multiplisert med faktoren 2.1) og nederst oksygenmetning.

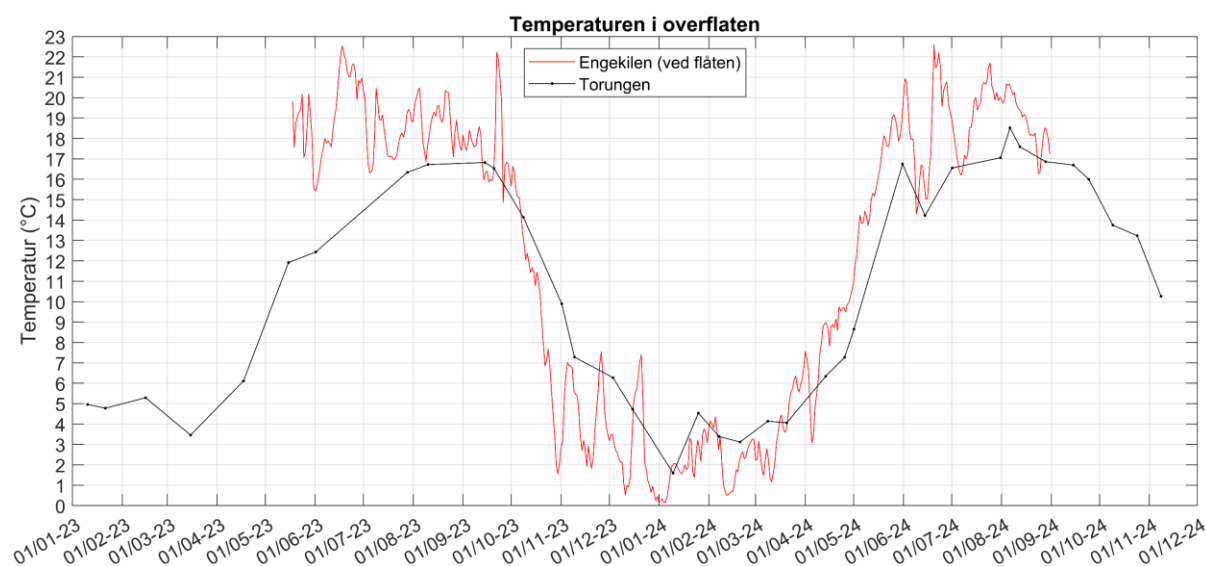


Figur 14: Konturlinjer av saltholdighet, temperatur og oksygenmetning i et transekt på langs av Engkilen.

4. Temperaturmålinger i overflaten

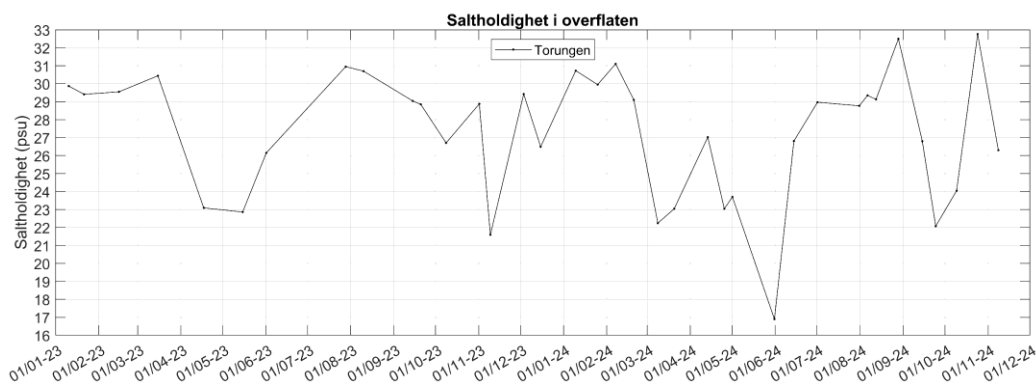
En temperaturlogger ble plassert på ca. 0.5 m dyp under flåten i Engekilen den 17. mai 2023. Plasseringen er vist Figur 2. Loggeren registrerer temperaturen hver time. I Figur 15 er gjennomsnittstemperaturen for hver dag vist med en rød kurve. Det er påfallende at temperaturen svinger opp og ned med 6-7 grader i løpet av noen uker. Dette skjer både sommer og vinter. I Figur 15 er også overflatetemperaturen ved Torungen fyr vist. Målingene herfra tas med en til to ukers mellomrom og dette er ikke nok til å fange opp svingninger med frekvens på 1-2 uker eller mindre, men i noen tilfeller sammenfaller svingningene i Engekilen og med variasjon observert ved Torungen. I løpet av juni 2024 går temperaturen ned og så opp tre grader i takt med svingningene i Engekilen. Generelt sett så varierer temperaturen mindre ved Torungen enn inne i Engekilen.

Disse svingningene i Engekilen kan forårsakes av vertikal omrøring. I juni var det fem grader kaldere vann på 5 m dyp enn i overflaten. Hvis vannet fra 5 m kommer opp til overflaten, så kunne det forklare svingningene som er observert i overflaten i juni 2024.

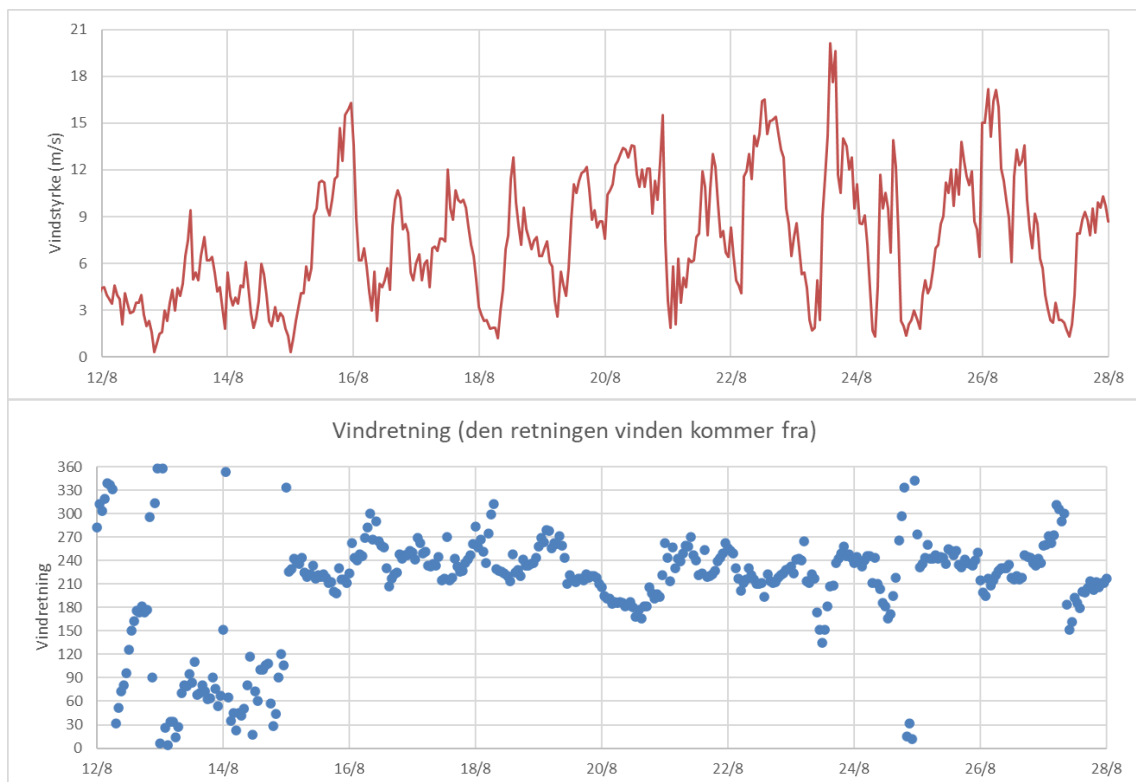


Figur 15: Temperatur i overflaten i Engekilen (rød kurve) og ved Torungen (svart kurve) i 2023 og 2024.

I Figur 16 vises saltholdigheten i overflaten ute i kystvannet som også er vist i Figur 9. Her vil vi fokusere på økningen i saltholdighet i overflaten i slutten av august, siden dette mest sannsynlig ga en dypvannsfornyelse i Engekilen. I Figur 17 vises vinden målt på Torungen fyr, og i slutten av august var det fralandsvind, som vil gi oppstrømning av dypvann.



Figur 16: Saltholdighet i overflaten ved Torungen fyr i 2023 og 2024.



Figur 17: Vindstyrke (øverst) og vindretning (nederst) fra Torungen fyr. Data er fra 12. til 28. august. Østlig retning er vind som kommer fra 270 grader.

5. Klassifisering av økologisk tilstand

Engekilen har vannforekomst id 0121000800-C og er ifølge Vann-Nett¹ en beskyttet oksygenfattig fjord, med lang oppholdstid for dypvannet. Det fins foreløpig ikke klassegrenser for klorofyll på sommeren, og vi har kun målinger av klorofyll fluorescens. Men Walday et al. (2023) foreslår et sett av klassegrenser for sommermiddel, og vi vil benytte disse grenseverdiene som gjelder for beskyttet vann i Skagerrak. I Tabell 2 har vi beregnet middelerverdi for sommeren av klorofyll fluorescens for forskjellige dybdeintervall. I Veileder 02:2018 står det at det skal benyttes middelerverdi av klorofyll målt i overflatelaget, så det er verdien som er midlet over dybdeintervallet 0-8 m som er mest i tråd med veilederen. Basert på dette så vil det biologiske kvalitetselementet planteplankton klassifiseres til moderat tilstand. Dette samsvarer med status som er satt for vannforekomsten i Vann-Nett. Ifølge Vannforeskriften betyr det at det skal settes i gang tiltak for å bedre vannkvaliteten i Engekilen.

Tabell 2: Klorofyll fluorescens fra CTD sondene som ble brukt. Middelerverdiene for sommeren er klassifisert etter klassegrenser hentet fra Tabell 11 i Walday et al. (2023). Blå farge betyr svært god tilstand, gul betyr moderat tilstand og oransje betyr dårlig tilstand.

Dato	0-1m	4-6m	0-8m
28.06.2024	3.0	7.7	6.4
18.07.2024	3.7	14.4	7.4
21.08.2024	4.1	7.5	7.2
Snitt	3.6	9.9	7.0

¹ <https://vann-nett.no/waterbodies/0121000800-C/factsheet/summary>

Planteplankton er bare en av flere biologiske kvalitetselement som skal brukes ifølge Veileder 02:2018. Tilstand i ålegrasengene og bløtbunnsfauna skal også benyttes. Å klassifisere etter disse kvalitetselementene inngår ikke i dette prosjektet, men siden oksygenforholdene klassifiseres til svært dårlig (<1.5 ml/L i bunnvannet) er det også sannsynlig at tilstanden til bløtbunnsfauna er dårlig. I tillegg betyr stor forekomst av lurv at tilstanden til ålegress sannsynligvis er dårlig. Det er derfor sannsynlig at den økologiske tilstanden i Engekilen er verre enn «moderat», som er den nåværende statusen i Vann-Nett.

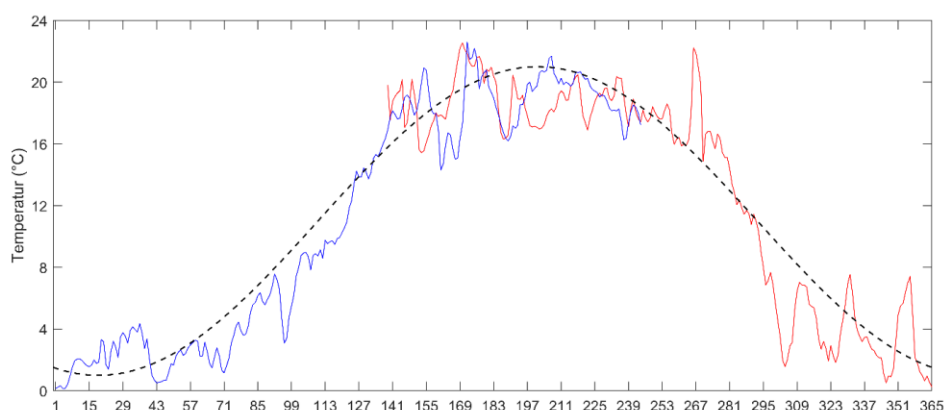
Tabell 3: Klassifisering av næringssalter på sommeren. Blå farge betyr svært god tilstand, gul betyr moderat tilstand og oransje betyr dårlig tilstand.

Stasjon	Dato	Dyp (m)	Ammonium NH ₄ (µg N/L)	Nitrat og nitritt NO ₃ + NO ₂ (µg N/L)	Fosfat PO ₄ (µg P/L)
Kistevik	juni-august	0 m	27.4	8.6	13.0
Amtedal	juni-august	0 m	77.0	74.0	10.8
Engekilen- dypet	18. juli	0-9 m	139.3	5.9	36.6

6. Modellering av lurv

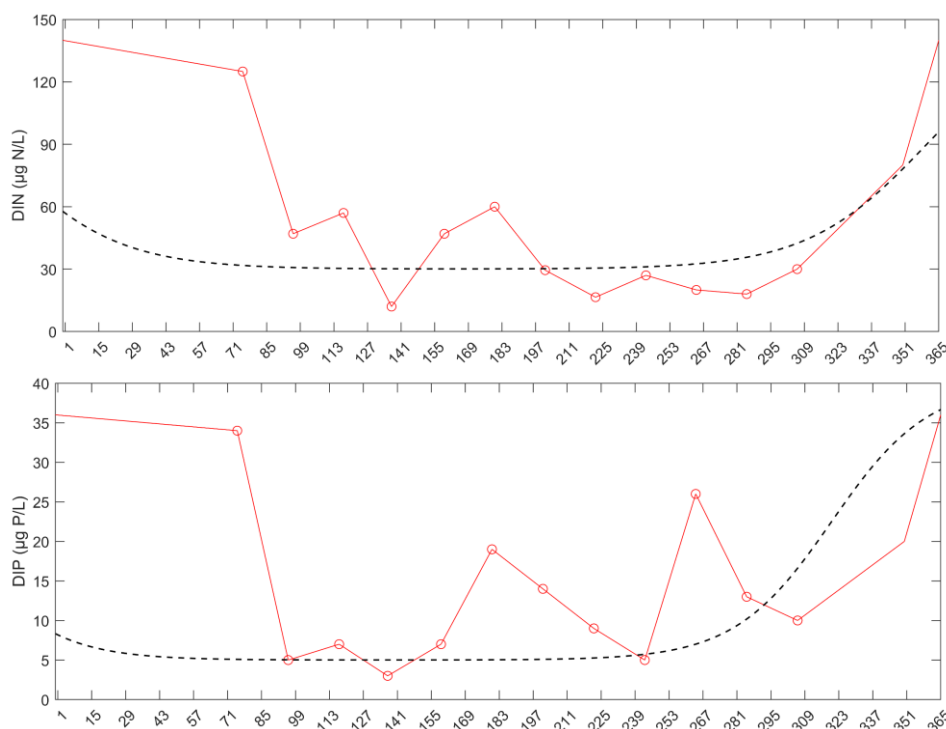
I Engekilprosjektet har det blitt utviklet en modell for lurv. Den er basert på en finsk modell for lurv som har blitt utviklet basert på data fra Finskebukta (Kirikkii, 1998). Inngangsdata er temperatur og løste næringssalter (DIN og DIP). I Figur 18 vises de temperatur dataene som er målt i Engekilen i 2023 og 2024, og på sommeren er det ingen vesentlig forskjell i temperatur. Dette betyr at det ikke er temperaturendringer som er årsaken til at det var mer lurv i 2023 enn i 2024. Det ble benyttet en matematisk formel som gir en temperaturutvikling som er tilpasset målingene (stiplet kurve).

$$f(x) = 10 \sin\left(2\pi \frac{x - 110}{365}\right) + 11$$



Figur 18: I figuren er temperatur fra 2023 (rød kurve) tegnet inn sammen med temperatur fra 2024 (blå kurve). Den stiplede linjen er en matematisk funksjon som er tilpasset temperaturmålingene.

I Figur 19 vises de inngangsdataene for DIP og DIN som ble brukt i lurvmodellen (stiplede linjer). Det var veldig mye næringssalter i Engekilen tidlig på året, og dette gikk brått ned i april. Men på denne tiden var det ikke mye lurv i Engekilen, og det er planteplankton som må ha vært årsaken til denne nedgangen. Derfor har dataene som blir lagt inn i modellen en lavere verdi tidlig på året, enn det som er målt.



Figur 19: Målt DIN (øverst) og DIP (nederst) er vist med røde kulepunkter. De verdiene som er benyttet i modellen er vist som stiplede linjer.

Kiirikki et al. (1998) beskriver en modell for lurv som er basert på en målekampanje i Finskebukta fra 1993-1995. Her ble det samlet inn forskjellige arter av lurv på en lokalitet mange ganger gjennom tre sesonger, hvor det ble målt biomasse (tørrvekt per kvadratmeter). Dette ga et unikt datasett som ble brukt til å utvikle denne modellen. Symbolet A blir brukt for å betegne biomassen til lurv, hvor forskjellige typer arter kan modelleres hver for seg (for eksempel vår-arter og sommer-arter). Veksten til lurv er avhengig av en vekstfaktor (μ) og et tapsledd R (respirasjonsrate).

$$\Delta A = \mu A - R(A - A_{min}) \quad (1)$$

A_{min} er den biomassen lurven har i overvintringsstadiet. Vekstfaktoren begrenses av tilgang på næring, temperatur og lys.

$$\mu = f_{nutr} \cdot f_{temp} \cdot f_{light} \cdot \mu_{max} \quad (2)$$

Næringssaltbegrensning beregnes basert på løst uorganisk nitrogen (DIN) og fosfor (DIP). DIN er summen av nitrat, nitritt og ammonium og DIP er fosfat.

$$f_{nutr} = \frac{DIN}{DIN + K_N} \cdot \frac{DIP}{DIP + K_P} \quad (3)$$

K_N og K_P er konstanter som regulerer næringsopptaket til lurv.

Temperaturen (T) sin effekt på veksten er beskrevet av den kompliserte funksjonen under. Funksjonen har form som en klokke med maksimal verdi ved en optimal temperatur T_{opt} .

$$f_{temp} = \exp \left[\left(\frac{a \cdot T_{opt}}{1-a} + T \right) \cdot \ln \left(a + \frac{1-a}{T_{opt}} \cdot T \right) + T_{opt} - T \right] \quad (4)$$

Parameteren a bestemmer klokkeformen på funksjonen. En høy verdi på a vil gi en spiss topp hvor veksten svekkes raskt om temperaturen avviker fra den optimale temperaturen, mens en lavere verdi gir mindre temperaturavhengig vekstbegrensning. Vi har ikke sett nærmere på lysbegrensning her og f_{light} er satt lik verdien en, men denne faktoren er beskrevet i Kiirikki et al. (1998).

Tapsleddet som er styrt av respirasjonsraten er også temperaturavhengig i modellen. I dette tapsleddet inngår også andre faktorer som gir nedgang i forekomst av lurv, som beiting fra små dyr og bølgeaktivitet, som kan være viktigere enn selve respirasjonen. Det er antatt at tapsleddet er temperaturavhengig, selv om bølgeaktivitet ikke vil være det.

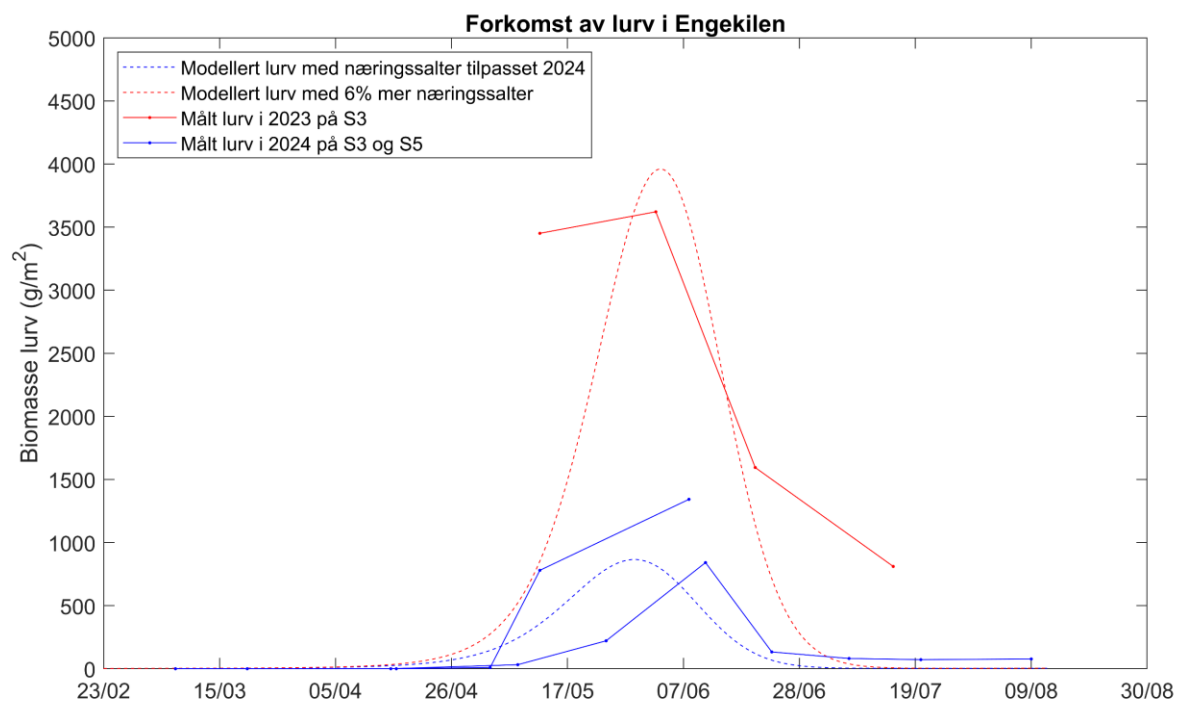
$$R = f_{temp} \cdot R_{max} \quad (5)$$

R_{max} er en maksimal verdi som settes for respirasjonsraten. f_{temp} kan ha andre tallverdier på parameterne a og T_{opt} for vekstleddet og tapsleddet. For å teste modellen har vi lagt inn analytiske verdier for DIN, DIP og temperatur, og brukt parameterne i 0.

Tabell 4: Parametere brukt i lurvemodellen for Engekilen.

Vekst		Respirasjon	
μ_{max}	0.30 d ⁻¹	R_{max}	0.19 d ⁻¹
K_N	9 µg N/L		
K_P	5 µg P/L		
a	1.45	a	1.38
T_{opt}	20.0 °C	T_{opt}	26.5 °C

I Figur 20 vises resultatene fra modellen for lurv sammen med de målte verdiene fra Figur 3. Modellen er tilpasset målte verdier fra 2024. Ved å øke mengden nitrogen og fosfor med kun 6 % så kan den forklares at det var ca. fire ganger så høy konsentrasjon av lurv langs strandkanten i Engekilen i 2023 enn i 2024. Her er det kun samlet inn data for lurv fra to år, og næringssalter kun for ett år. Disse to årene viser at det er store forskjeller fra år til år, og det anbefales at prøvetakning av lurv og næringssalter, sammen med temperaturmålinger, fortsetter i flere år fremover. De resultatene som foreligger så langt, viser tydelig at det er svært viktig å redusere konsentrasjonene av næringssalter, både i Engekilen og kystvannet generelt. Det må påpekes at modellen ikke tar hensyn til vindens effekt, og det er svært sannsynlig at vindforholdene i 2024 gjorde at det ikke bygde seg opp så store algematter som det kunne ha vært hvis vinden hovedsakelig hadde kommet fra nordøst.



Figur 20: Sammenligning av målt og modellert forekomst av lurv i Engekilen.

7. Vurdering av tiltak

For å undersøke hvilke tiltak som kan gi reduksjon i næringssalter i Engekilen ble det i fjorårets prosjekt gjort beregninger med NIVA Fjordmodell og resultatene er vist i Tabell 5. I et scenario ble innløpet til Engekilen utvidet. Dette ga en reduksjon i mengden nitrogen, men en økning i mengden fosfat. Dette resultatet er veldig avhengig av hva som legges som konsentrasjon av næringssalter i kystvannet i NIVA Fjordmodell. Men målinger av næringssalter inni og utenfor Engekilen i 2024 støtter dette resultatet, siden det noen ganger er høyere konsentrasjoner fosfat i kystvannet, mens det hele tiden er lavere konsentrasjon av nitrogen i kystvannet. Når resultatet fra NIVA Fjordmodell for en utvidelse av kanalen legges inn i lurvemodellen, vil dette faktisk kunne gi en betydelig økning i mengden lurv i Engekilen.

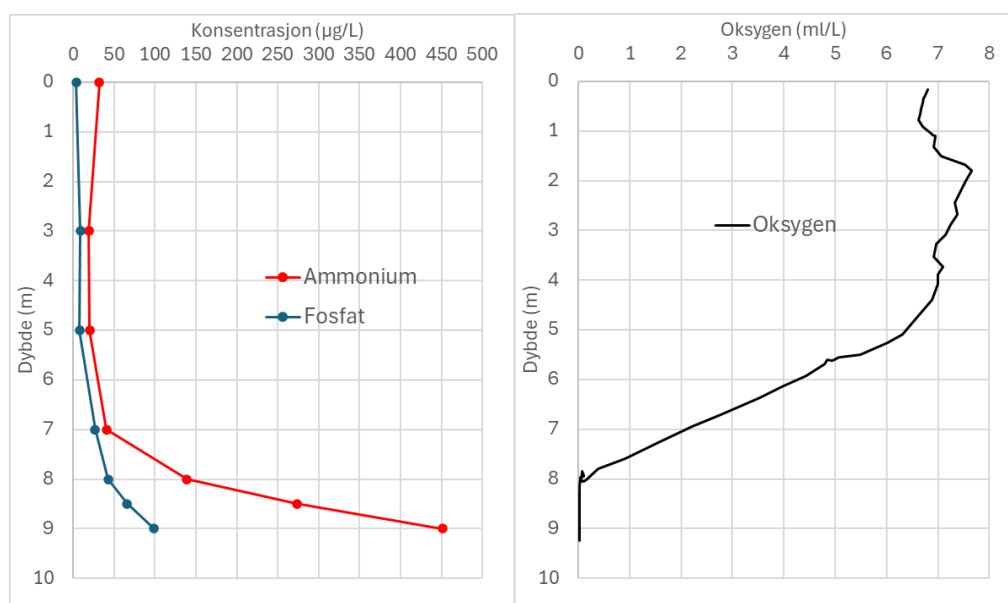
I fjorårets prosjekt ble det foreslått å føre en del av vannet fra Amtedalsbekken ned i dypet i Engekilen. Siden det da ikke lenger vil være anoksiske forhold i dypvannet i Engekilen som mobiliserer fosfat fra sedimentene, vil dette gi en kraftig reduksjon i mengden fosfat i overflatelaget. Legges dette resultatet inn i lurvemodellen, vil det også bli en kraftig reduksjon i mengden lurv i Engekilen. Dette vil innebære et inngrep i Amtedalsbekken, men hvis forholdene bedrer seg i Engekilen så vil dette også kunne ha positive ringvirkninger for Amtedalsbekken.

Et slikt inngrep ser ikke Foreningen for Engekilens Vel seg tjent med. Dette fordi bekken er fredet som sjørret bekk ved Kongelig resolusjon, beskyttet med et strengt lovverk som nødvendiggjør konsekvensutredning og søknad om dispensasjon fra flere lover. Foreningen for Engekilens vel mener de ikke har ressurser til å gå inn i en slik prosess. I tillegg har de fått tilbakemelding fra Statsforvalteren i Agder om at en slik prosess vil kunne ta lang tid og odds for å lykkes i en slik søknadsprosess er ikke særlig høy.

Tabell 5: Scenarier som ble kjørt med NIVA Fjordmodell i fjorårets prosjekt og effekten disse har på nitrat og fosfat i overflatelaget og oksygen i bunnvannet i Engekilen. Endringen av næringssalter er i forhold til scenariet TODAY. Oksygenforholdene er klassifisert etter Veileder 02:2018, hvor konsentrasjon <1,5 ml/L betyr «svært dårlig» tilstand, 1,5-2,5 ml/L betyr «dårlig», 2,5-3,5 ml/L betyr «moderat» og 3,5-4,5 betyr «god» og >4,5 ml/L betyr «svært god» tilstand.

Kode	Beskrivelse	Endring av nitrat i overflata	Endring i fosfat i overflata	Minimum O ₂ i bunnvannet (ml/L)	5 prosentil O ₂ i bunnvannet (ml/L)
TODAY	Modellering av dagens situasjon Innløpet er 8 m bredt og 1,2 m dypt.			-0,48	0,04
WIDE	Modellering av effekt av å utvide og utdype innløpet. Innløpet er 26 m bredt og 2,2 m dypt.	-14 %	+123%	-0,04	0,15
DEEP50	Lede 50% av vannet fra Amtedalsbekken ned på 9 m dyp	-1 %	-70 %	2,86	4,35
DEEP20	Lede 20% av vannet fra Amtedalsbekken ned på 9 m dyp	0 %	-67 %	0,76	3,51

Som et alternativ til å føre en del av Amtedalsbekken ned på dypet, foreslås det å legge et tradisjonelt bobleanlegg hvor det tilføres luft til det dypeste punktet i Engekilen. I Tabell 6 vises arealet av Engekilen i forskjellige dyp basert på oppmåling av bunntopografi som NIVA gjennomførte i 2023. I Figur 13 vises profilmålinger av oksygen fra 2024, og i juli var det helt oksygenfritt fra 8 m og ned til bunn. Basert på Tabell 6 så utgjør volumet under åtte meters dyp 945 m³. Hvis det skal oppnås en oksygenkonsentrasjon på 2.5 ml/L (som er målet ihht. Veileder 02:2018) i dette volumet må det tilføres minst 3.4 kg oksygen. Da er det ikke tatt hensyn til at sedimentene kan ha et stort behov for oksygen. Det vil kunne være betydelig positive effekter ved å sørge for at bunnvannet aldri går tom for oksygen, siden transport av næringssalter nedenfra og opp til overflatelaget vil bli mindre. For å si det på en annen måte, en vil da unngå de høye næringssaltkonsentrasjonene i bunnvannet som en ser i Figur 21. I den nederste meteren er det helt fritt for oksygen og her blir det høye konsentrasjoner av næringssalter, som vil være en kontinuerlig kilde til algevekst lenger opp i vannmassen. Ved å tilføre oksygen til bunnvannet, vil man unngå denne situasjonen.



Figur 21: Til venstre vises ammonium (rød) og fosfat (blå) på det dypeste punktet i Engekilen 18. juli 2024. Til høyre vises oksygenprofilen på samme sted.

Ved å teste ut et bobleanlegg i Engekilen vil det genereres informasjon og erfaringer som potensielt vil kunne overføres til svært mange vannforekomster over hele landet.

Tabell 6: Beregnet hypsografiske kurven for Engekilen basert på data målt opp av NIVA i 2023.

Dyp (m)	Areal (m ²)
0	183829
1	150550
2	112589
3	72293
4	43736
5	23368
6	11484
7	4766
8	1642
9	216
9.3	0

Sammendrag og konklusjon

I dette prosjektet har det blitt samlet inn grunnleggende data om forekomst av lurv, og er et pionerarbeid i norsk sammenheng. Bare på to år med innsamling av forekomst av lurv i Engekilen, basert på frivillig innsats fra Foreningen fra Engekilens Vel, har sesongsyklusen til lurv blitt dokumentert og det er påvist at det er stor forskjell mellom de to årene.

Modellering av lurv tyder på at endring i mengden næringssalter kan forklare forskjellen i mengden lurv i 2023 og 2024, men konsentrasjon av næringssalter er kun dokumentert for 2024. Det anbefales at prøvetakning av lurv og næringssalter, sammen med temperaturmålinger, fortsetter i flere år fremover.

Basert på de dataene fra Engekilsprosjektet så klassifiseres tilstanden for oksygen i bunnvannet til «svært dårlig» tilstand, næringssalter i overflaten til «moderat» eller «dårlig» tilstand og for klorofyll (fra kalibrert fluorescens sensor) til «moderat» eller dårligere tilstand. Planteplankton er bare en av flere biologiske kvalitetselement som skal brukes ifølge Veileder 02:2018. Tilstand i ålegrasengene og bløtbunnsfauna skal også benyttes. Å klassifisere etter disse kvalitetselementene inngår ikke i dette prosjektet, men siden oksygenforholdene klassifiseres til svært dårlig (<1.5 ml/L i bunnvannet) er det også sannsynlig at tilstanden til bløtbunnsfauna er dårlig. I tillegg betyr stor forekomst av lurv at tilstanden til ålegress sannsynligvis er dårlig. Det er derfor sannsynlig at den økologiske tilstanden i Engekilen er verre enn «moderat», som er den nåværende statusen i Vann-Nett.

Bunnvannet i Engekilen er en kontinuerlig kilde til næringssalter for algevekst, både planteplankton og trådformede bentiske alger (lurv) i strandsonene. Det anbefales derfor at det gjøres tiltak som forbedrer oksygenforholdene i dypvannet. Dette vil hindre at næringssalter fra sedimentene tilføres til overflatelaget i Engekilen. Det anbefales at å legge et tradisjonelt bobleanlegg hvor det tilføres luft til det dypeste punktet i Engekilen. Ved å teste ut et bobleanlegg i Engekilen vil det genereres informasjon og erfaringer som potensielt vil kunne overføres til svært mange vannforekomster over hele landet.

Referanser

Christie, H., & Rinde, E. (2020). Tre ålegrasenger på Skagerrakkysten: Forvarsel om en naturtype i forfall. NIVA notat til Miljødirektoratet og Statsforvaltere i Sør-Norge.

Staalstrøm, A., & Yakushev, E. (2020). Vurdering av mulige tiltak for å bedre vannkvaliteten i Hunnebunn. NIVA-rapport. <http://hdl.handle.net/11250/2637089>

Kiirikki, M., Haapamäki, J., Koponen, J., Ruuskanen, A., & Sarkkula, J. (1998). Linking the growth of filamentous algae to the 3D-ecohydrodynamic model of the Gulf of Finland. *Environmental Modelling & Software*, 13(5-6), 503-509.

Redfield, A. C. (1934). On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton (Vol. 1). Liverpool: university press of liverpool.

Vedlegg 1: Bildeserie fra Engekilen



Figur 22: Bilder 31/5, 3/6 og 6/6 2024.



Figur 23: Bilder 10/6, 13/6 og 17/6 2024.



Figur 24: Bilder 20/6, 25/6 og 26/6 2024.



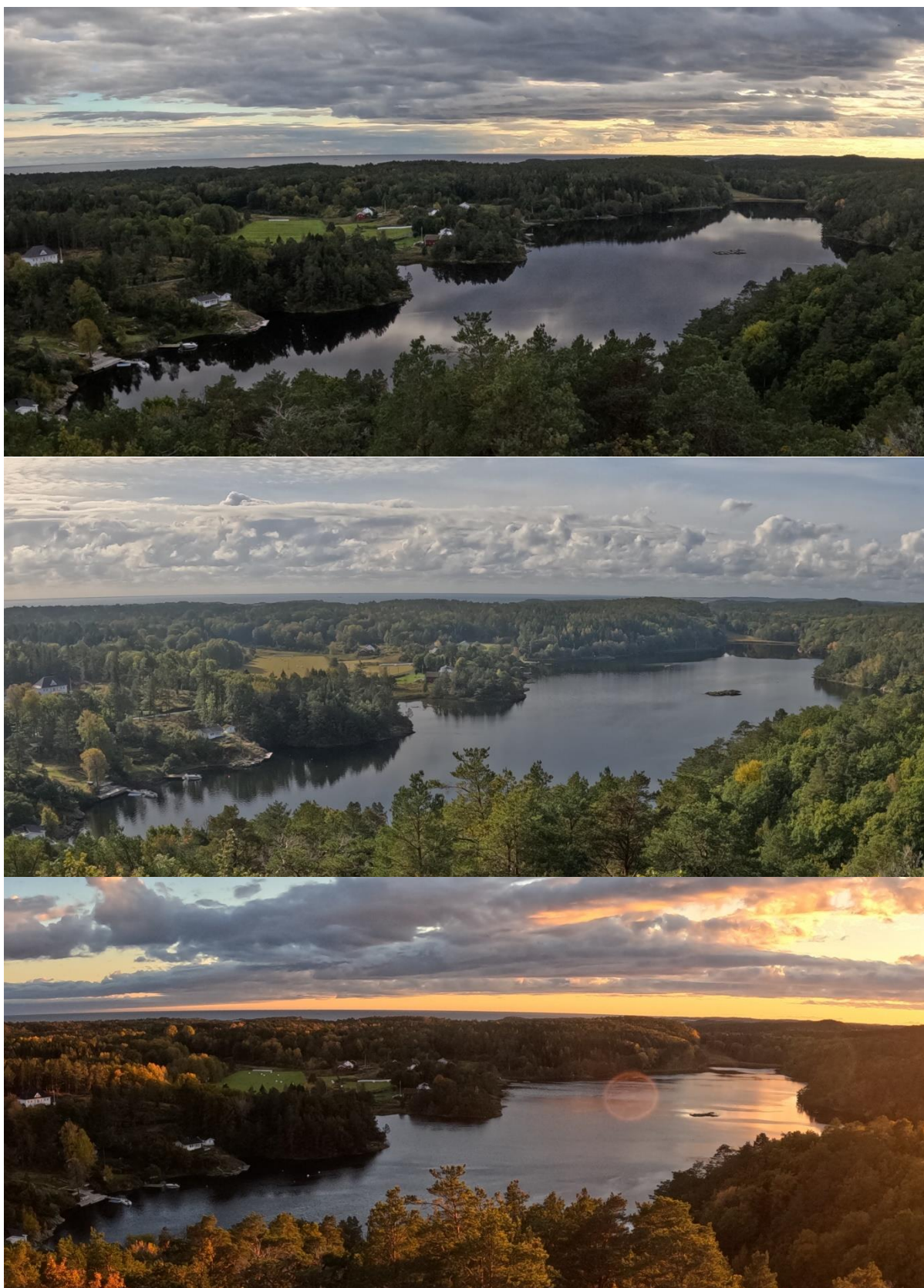
Figur 25: Bilder 28/6, 1/7 og 4/7 2024.



Figur 26: Bilder 9/7, 14/7 og 7/8 2024.



Figur 27: Bilder 26/8, 30/8 og 15/9 2024.



Figur 28: Bilder 27/9, 30/9 og 10/10 2024.



Figur 29: Bilde 29/10 2024.