



Foraminiferer som miljøindikator for vannkvalitet og levevilkår på sjøbunnen i Indre Oslofjord

Av Jane K. Dolven, Silvia Hess, Ketil Hylland og Elisabeth Alve (2018)

Fagrådets rapport nr. 114





FORORD

Denne rapporten er utarbeidet på forespørsel fra Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i Indre Oslofjord og er Fagrådets rapport nummer 114. Arbeidet er gjennomført av Universitetet i Oslo og Norconsult og finansiert av Fagrådet.

Feltarbeidet ble gjennomført i oktober 2017 med FF Trygve Braarud (UiO). Vi takker skipper Sindre Holm og hans mannskap for godt samarbeid under feltarbeidet.

Prosjektet er utført av Jane K. Dolven (oppdragsleder/tidligere Norconsult, nå Universitetet i Sørøst-Norge) i utmerket samarbeid med Elisabeth Alve, Silvia Hess og Ketil Hylland (alle tre Universitetet i Oslo). Analyser av total organisk karbon (TOC), total nitrogen (TN) og forenklet kornfordeling (<63 μm) ble gjennomført ved henholdsvis Institutt for biovitenskap (TOC og TN) og Institutt for geofag (kornfordeling). Takk til Mufak Said Naoroz og Berit Kaasa (begge UiO) som bistod med dette.

Til slutt vil vi gjerne takke alle i Fagrådet for et spennende oppdrag, spesielt Knut Bjørnskau og Svanhild Fauskrud for god kommunikasjon og stort engasjement.

Larvik, desember 2018

Jane K. Dolven

Referanse:

Dolven, J.K., Hess, S., Hylland, K og Alve, E., 2018. Foraminiferer som miljøindikator for vannkvalitet og levevilkår på sjøbunnen i Indre Oslofjord. Fagrådets rapport nr. 114, 23 sider.



SAMMENDRAG

Tidligere undersøkelser i Indre Oslofjord har vist at bunnlevende foraminiferer (meiofauna) reflekterer miljøforholdene de lever i og kan dermed brukes til å gi informasjon om økologisk tilstand og levevilkår på sjøbunnen. For å kartlegge dagens tilstand i Indre Oslofjord og like utenfor Drøbaksterskelen, og å vurdere utviklingstrenden i fjordsystemet, ble det i oktober 2017 samlet inn bunnsedimenter på 12 stasjoner. Bunnsedimentene ble undersøkt med hensyn på levende foraminiferfaunaer, kornfordeling, total organisk karbon og C/N-forhold. I tillegg ble det gjennomført hydrografiske målinger (temperatur, salinitet og oksygen) gjennom vannsøylen på hver av stasjonene.

Resultatene viser at den økologiske tilstanden (nEQR) er «svært god» (tilstandsklasse I) utenfor Drøbaksterskelen og i sydlige deler av Vestfjorden. Deretter forringes tilstanden gradvis innover i fjorden til Bunnefjorden hvor den økologiske tilstanden er «svært dårlig» (V). I to sub-bassenger avviker tilstanden fra tilstanden i deres respektive hovedbasseng: 1) Det delvis «isolerte» Steilenebassenget (St 2) i Vestfjorden hvor forholdene er dårligere enn i Vestfjorden forøvrig, dvs. tilstandsklasse IV («dårlig») og 2) den nordøstre del av Bekkelagsbassenget (RC5 og RC9) hvor tilstanden er i klasse II («god»), dvs. bedre enn nærliggende stasjoner. Sistnevnte skyldes forbedringstiltak igangsatt med flytting av utløpsledningen fra Bekkelaget renseanlegg til dypere vann tidlig på 2000-tallet. I de indre deler av fjorden er det et stort avvik mellom dagens økologiske tilstand («svært dårlig») og naturtilstanden («svært god») som tidligere er beregnet basert på fossile foraminiferfaunaer i daterte sedimentkjerner. I ytre deler av Vestfjorden og utenfor Drøbaksterskelen samsvarer nåværende tilstand godt med naturtilstanden. Økt hyppighet av den opportunistiske arten *Stainforthia fusiformis* utenfor Drøbaksterskelen peker i retning av økt eutrofiering i senere år. En invaderende art, *Nonionella stella*, som først ble registrert i Indre Oslofjord i 2012 er nå til stede og til dels hyppig på alle stasjoner, bortsett fra de mest oksygenfattige Bunnefjordstasjonene.

Det er generelt høyt organisk karbon (TOC)-innhold («svært dårlig» tilstand) i overflatesedimentene i Indre Oslofjord, og innholdet korrelerer godt med både diversitetsindeksene ($H' \log_2$ og ES_{100}) og den sammensatte indeksen NQI. Unntaket er representert ved en stasjon i Bekkelagsbassenget (RC5), som ble kunstig tildekket med ren marin leire i 2007.

Korrelasjonen mellom foraminiferdata og målte oksygenkonsentrasjoner i bunnvannet er svært god. Faunasammensetningen (klyngeanalysen) for alle stasjonene støtter opp under dette. Samlet gir dette en sterk indikasjon på at oksygen er en av de viktigste faktorene som styrer sammensetningen av foraminiferfaunaene i Indre Oslofjord.

Variabiliteten i foraminiferfaunen er undersøkt for en sterkt belastet stasjon (St 2) og en referansestasjon (Im4x). Analyser av artsdiversitet og jevnhet basert på 10 replikater fra hver stasjon viser at det ikke er signifikant endring for de ulike indeksene ved analyse av flere enn tre replikater fra samme stasjon. Variabiliteten mellom replikatene fører imidlertid til at bruk av færre enn fire replikater per stasjon kan medføre feilklassifisering. Det anbefales å benytte minst fire replikater prøver ved sammenligning av to eller flere lokaliteter siden det gir vesentlig økt teststyrke (mulighet til å fastslå korrekt klasse og å skille mellom stasjoner).

1 FORMÅLET MED UNDERSØKELSEN

Målet med undersøkelsen er å samle inn informasjon om økologisk tilstand i forskjellige deler av Indre Oslofjord, og ut i fra dette si noe om levevilkår på sjøbunnen. Nyinnsamlede data



sammenliknes med tidligere innsamlede data (tilgjengelige data fra 2009 og naturtilstanden, der dette finnes). Dette gir informasjon om utviklingstrenden i området.

Undersøkelsene baserer seg på bunnlevende foraminiferer (meiofauna) som raskt responderer på endringer i miljøet de lever i, spesielt oksygenforhold i bunnvannet og organisk belastning (eutrofiering). Fordelen med bruk av foraminiferer fremfor andre økologiske kvalitetselementer er at mange arter etterlater sine tomme skall i sedimentet når de dør. Studier av disse skallene oppover i daterte sedimentkjerner gir informasjon om hvordan vannkvalitet og levevilkår har endret seg fra tidligere tider (helt tilbake til naturtilstanden) og frem til i dag (Alve m.fl. 2009, Dolven m.fl. 2013). Ut i fra sammenlikningen mellom nyinnsamlede versus eldre data er det mulig å vurdere effekter av tiltak, eksempelvis tildekkingen av forurensede sedimenter i Bekkelagsbassenget (Hess m.fl. 2014).

I tillegg til å undersøke økologisk tilstand er det gjennomført en variabilitetsstudie for å innhente informasjon om hvordan foraminifersammensetningen varierer innen et avgrenset område (stasjon). Det er velkjent at makrofauna i enkelte tilfeller kan vise stor variabilitet («patchiness»). Tidligere studier har vist at 4-5 replikater er tilstrekkelig for å kunne beskrive representative strukturelle forskjeller i makrofaunasamfunn mellom bløtbunns-stasjoner (se Ferraro m.fl. 1994 med referanser). Med unntak av en studie basert på 3 replikater per stasjon (Bouchet m.fl. 2012), er ikke tilsvarende undersøkt for subtidale foraminiferfaunaer. De få studiene som foreligger fokuserer primært på individhyppighet, gjerne i naturlig stressede gruntvannsområder (f. eks. Buzas m.fl. 2002, Morvan m.fl. 2006). Det er derfor, på samme måte som for makrofauna, viktig å undersøke variabiliteten blant foraminiferene innen et område i subtidale miljøer. Dette for å sikre at et tilstrekkelig antall replikater blir samlet inn på hver stasjon (slik at variabiliteten er tilfredsstillende beskrevet) og at man får gode nok data til å vurdere den økologiske tilstanden.

2 MATERIALE OG METODER

2.1 Bruk av foraminiferer i overvåking

Foraminiferer er små (de fleste < 0,5 mm) bunnlevende, marine, encellede organismer med et skall av kalk eller sammenkittede korn (agglutinerte). Som en del av organismesamfunnet på bløtbunn, påvirkes foraminiferene av flere typer miljøbelastninger, spesielt organisk belastning og endringer i oksygenforholdene i bunnvannet. Individantall og artsmangfold endres med påvirkningsgrad og gir en god indikasjon på vannkvalitet og levevilkår på sjøbunnen. Foraminiferene reflekterer stedegne forhold på bunnen da de ikke kan bevege seg målrettet eller svømme bort. Organismegruppen er nyttig i miljørekonstruksjoner fordi den responderer raskt på miljøendringer. I tillegg blir skallene til mange arter værende igjen i sedimentet når organismene dør, og fungerer som «spor» som kan brukes til å rekonstruere stedets økologiske tilstand tilbake i tid. Foraminiferer har vist seg å rekolonisere et område i løpet av dager til år avhengig av lokale fysiske og geokjemiske forhold (Alve 1999) og er dermed et utmerket kvalitetselement til bruk i overvåking av miljøendringer. Et godt eksempel er Bekkelagsbassenget hvor forurensede masser ble tildekket med rene masser. Foraminiferene rekoloniserte området etter kort tid (<1 år) og viste forbedring i økologisk status allerede etter 2 år (til sammenlikning med områder hvor forurensede masser ikke ble tildekket) (Hess m.fl., 2014). Foraminiferinnholdet nedover i en sedimentkjerne (= bakover i tid) kan brukes til å rekonstruere tidligere tiders økologiske tilstand og gi informasjon om «stedegen naturtilstand» (Fagrådets rapport 106 av Dolven og Alve 2010). Informasjon om naturtilstandens økologiske tilstand basert på foraminiferer (Alve m.fl. 2009a, b; Dolven og Alve 2010; Dolven m.fl. 2013) benyttes allerede nå som veiledende informasjon for hva som er rimelige miljømål for ulike deler av Indre Oslofjord og i området rett utenfor Drøbakterskelen (Veileder 2/2013 revidert 2015; Berge m.fl. 2011). Det er nylig utarbeidet et eget klassifiseringssystem for foraminiferer (Alve m.fl. 2019).



2.2 Stasjoner for foraminiferundersøkelser i Indre Oslofjord, 2017

Undersøkelser av levende foraminiferfaunaer er gjennomført innen tilsvarende vanddypsintervall (ca 50-160 m) i de to hovedbassengene Bunnefjorden og Vestfjorden i Indre Oslofjord for å dokumentere utviklingen av økologisk tilstand langs oksygengradienter.

Tabell 1. Stasjoner for foraminiferanalyser i Indre Oslofjord i 2017. Stasjon nummer 1-7 og 8-11 representerer de to hovedbassengene, hhv Bunnefjorden og Vestfjorden. Stasjon 12 i Drøbaksundet er en referansestasjon. For noen stasjoner har vi resultater tilgjengelig fra 2009 (Hess upubl. data). * = Dolven og Alve (2010); Dolven m.fl. (2013). Bakgrunnsdata for St 2 er basert på Dm2 lokalisert like ved i samme basseng.

Nr.	Stasjon	Området	Posisjon		Vand- dyp (m)	Tidligere data (levende foraminiferer):	Naturtilstanden basert på fossile foraminiferer*:
1	Ep-1	Bunnefjorden	59.785633	10.721167	152	2009	ja
2	Cp 3-1	Bunnefjorden	59.835415	10.706800	100	2009	ja
3	Bunn 18x	Bunnefjorden	59.858345	10.696233	83	---	ja
4	Exp74	Bunnefjorden	59.870621	10.696380	74	2009	nei
5	RC 5	Bekkelags- bassenget	59.882210	10.746994	54	2009	nei
6	RC 9	Bekkelags- bassenget	59.88073	10.746785	49	2009	nei
7	Bo 2-1	Lysakerfjorden	59.890549	10.665517	55	2009	ja
8	Cj 3-1	Vestfjorden	59.844734	10.510067	58	2009	ja
9	Ck 3-1	Vestfjorden	59.828201	10.544367	87	---	nei
10	St 2	Vestfjorden (Steilene- bassenget)	59.822094	10.592574	63	---	ja (Dm2)
11	Fl 1-1	Vestfjorden	59.756226	10.574152	164	---	ja
12	Im4x	Drøbaksundet	59.644966	10.613640	157	2009	ja

Stasjonene i Bunnefjorden-Lysakerfjorden (nr. 1-7 i Tabell 1) omfatter vanddyp på 49-152 m og naturtilstanden basert på foraminiferer er allerede kjent fra fire av stasjonene (Dolven og Alve, 2010). Stasjonene i Vestfjorden (nr. 8-11 i Tabell 1) omfatter vanddyp på 58-164 m og naturtilstanden basert på foraminiferer er kjent fra tre av stasjonene (Dolven og Alve 2010). I tillegg har vi undersøkt en stasjon utenfor Drøbakerskelen (nr. 12 i Tabell 1), hvor tidligere foraminiferundersøkelser har vist at både naturtilstanden og tilstanden i 2009 var «svært god» (Dolven m. fl. 2013, Hess upubl. data). Denne stasjonen representerer en «referanse» for miljøtilstanden i Indre Oslofjord og 2017-undersøkelsene vil således gi bakgrunnsinformasjon for stabiliteten i Indre Oslofjordssystemet.

I senere år har vi, ved hjelp av foraminiferanalyser, fulgt utviklingen av miljøtilstanden i Bekkelagsbassenget. Målet har vært å teste vellykketheten av miljøtiltak på to stasjoner; tildekking av forurenset sjøbunn (RC5) og re-oksygenering av et anoksisk basseng (RC9; Hess m.fl. 2014, Kebede 2015). Restitueringen av miljøforholdene i dette bassenget pågår fremdeles og for å

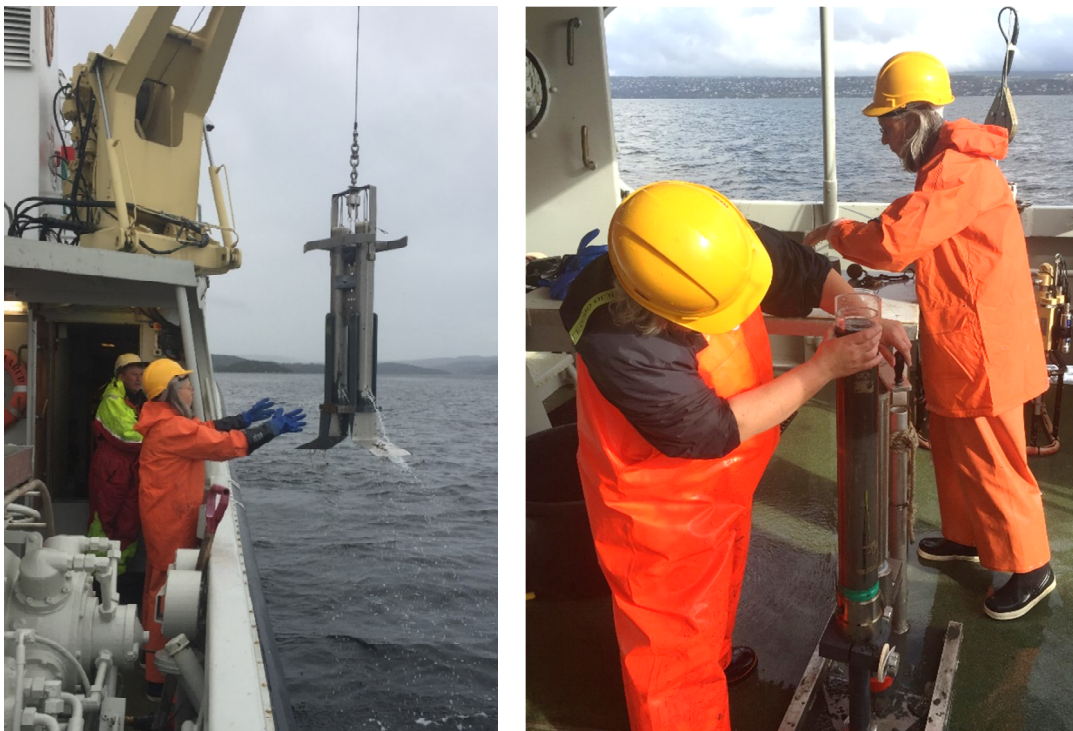
overvåke denne har vi også innhentet og analysert prøver fra de to stasjonene i Bekkelagsbassenget (stasjon nr. 5 og 6 i Tabell 1).

Valget av de to stasjonene som skulle benyttes i variabilitetsundersøkelsen var basert på ønsket om at de sammen skulle representere ytterpunktene i økologisk tilsand fra «svært god» til «dårlig/svært dårlig». På bakgrunn av tidligere undersøkelser ble henholdsvis stasjon Im4x, kontrollstasjonen utenfor Drøbakerskelen (Dolven m. fl. 2013), og St 2 i Steilenebassenget, Vestfjorden (Hess unpubl. data august 2017), valgt. Replikate prøver innen hver stasjon ble samlet inn tilfeldig («random sampling») på omtrent samme vanddyb (Vedlegg 1).

2.3 Prøveinnsamling og analyser

Prøveinnsamlingen fant sted med FF Trygve Braarud (UiO) i perioden 2.-4. oktober 2017. Under bunnprøvetakingen ble det benyttet en Gemini-prøvetaker som innhentet to sedimentkjerner samtidig (Figur 1). Kjernene ble fotografert og beskrevet før den øverste 0-1 cm av sedimentet ble snittet av for senere analyser av levende foraminiferer, TOC, C/N og kornfordeling. Det ble prøvetatt minimum fire «skudd» på hver stasjon. Av de 8 innsamlede kjernene ble fire kjerner prøvetatt for foraminiferer, og overflatesedimentet (0-1 cm) fra tre kjerner ble prøvetatt og samlet i en blandprøve for analyse av støtteparametere (TOC, C/N og kornfordeling). For variabilitetsundersøkelsen ble 10 replikater samlet inn fra hver av Im4x og St 2.

I tillegg ble det innsamlet hydrografiske data (temperatur, salinitet og oksygen) gjennom vannsøylen. Kun bunnvannsdata, relevante for foraminiferfaunaen, presenteres i inneværende rapport.



Figur 1. Prøvetaking med «Gemini-prøvetaker» i oktober 2017 (bildet til venstre). Kjernen fotograferes, beskrives og deles opp i sedimentskiver for analyse av foraminiferer, kornfordeling, TOC og C/N (bildet til høyre).



Levende (bengalrosafargede) foraminiferer i de øverste 0-1 cm ble preparert og analysert fra fire replikater (Schönfeld m.fl. 2012). Dette ble gjennomført med samme metodikk som tidligere innsamlede foraminiferprøver i Indre Oslofjord (Hess m. fl. 2014, Hess unpubl. data), dvs at kun 1/8 av hver foraminiferprøve ble talt på grunn av høy individtetthet. Kun fossiliserbare arter (Bouchet m. fl. 2012) ble inkludert i analysene. Økologisk tilstand ble beregnet med diversitetsindekser (H'_{\log_2} og ES_{100}) og en nylig utviklet sammensatt indeks, NQI, som er basert på foraminiferer og interkalibrert med makrofauna (Alve m. fl. 2019).

Diversitetsindekser (H'_{\log_2} og ES_{100}) er beregnet for prøver med >100 individer, ved hjelp av Primer Ver. 6.1.6 (Clarke og Gorley 2006), og sammensatt indeks (NQI) er basert på Alve m. fl. (2019).

Beregningene er basert på et gjennomsnitt av foraminiferdata fra fire replikater på hver stasjon. For hver indeksverdi er normalisert EQR (nEQR) beregnet iht. følgende formel (hentet fra Veileder 02/2013 revidert 2015) utarbeidet for makrofauna:

$$nEQR = (\text{indeksverdi} - \text{kassens nedre indeksverdi}) / (\text{klassens øvre indeksverdi} - \text{klassens nedre indeksverdi}) * 0,2 + \text{klassens nEQR basisverdi}$$

Samlet nEQR for stasjonen er kalkulert som et gjennomsnitt av de tre beregnede nEQR-verdiene (en for hver indeks).

Klyngeanalyser ble foretatt ved hjelp av Primer Ver. 6.1.6 (Clarke og Gorley 2006). Analysene er basert på telldata av alle replikate prøver hvor foraminiferer var til stede. Dataene ble rottransformert for å dempe effekten av de mest hyppig forekommende artene og likhetsanalyse foretatt ved bruk av Bray-Curtis-metoden (Bray og Curtis 1957).

Variabilitetsstudien omfattet beregning av kumulativt antall arter for hver av de to stasjonene Im4x og St 2. For faunaindeksene H'_{\log_2} , ES_{100} , NQI og jevnhet (J') ble gjennomsnittlige verdier med 95 % konfidensintervall beregnet for tre til og med ti replikater. I tillegg presenteres antall individer per 6,3 cm² (tilsvarende 1/8 av prøvetatt areal) for de vanligste artene i hver replikate prøve på de samme to stasjonene. Bobleplott (multidimensional scaling, MDS) presenteres for den mest opportunistiske arten i datasettet, *Stainforthia fusiformis* (Williamson), og for en nylig innvandret art, *Nonionella stella* Cushman og Moyer 1930. Bobleplottene er basert på klyngeanalyser (samme prinsippl og metode som nevnt over). I tillegg til likhet mellom prøvene, uttrykt ved avstanden mellom boblene, gir størrelsen på boblene et uttrykk for absolutt hyppighet (antall individer/cm²) for hver av de to artene i 2009 og 2017. For å kunne sammenlikne hyppigheten og utbredelsen av de to artene i 2009 og 2017, er bare stasjoner som ble prøvetatt i begge år benyttet.

Analyser av total organisk karbon (TOC), total nitrogen (TN) og forenklet kornfordeling (<63 µm) ble gjennomført ved henholdsvis Institutt for biovitenskap (TOC og TN) og Institutt for geofag (kornfordeling), begge UiO. TOC og TN ble analysert ved hjelp av en Thermo Finnigan EA1112 ved ca. 1800 °C. Kornfordelingen ble foretatt ved at tørket, ubehandlet sediment ble våtsiktet gjennom en 63 µm sikt. TOC-verdiene er normalisert iht. Veileder 02/2013 revidert 2015. Man må her være klar over at andelen av <63 µm i sedimentet til en viss grad styres av hvor grundig sedimentet har blitt vasket gjennom 63 µm-sikten.

Hydrografiske data ble innsamlet i forbindelse med kjerneprøvetakingen og ble utført med FF Trygve Braaruds Seabird CTD modell SBE 9plus.

Resultatene fra foraminiferundersøkelsene og støtteparametere (temperatur, salinitet, oksygen, TOC, kornfordeling og C/N) er sammenstilt under og kort diskutert mot tidligere innsamlede data fra 2009 (Hess m. fl. 2014; Hess unpubl. data) og naturtilstanden (Dolven og Alve 2010; Dolven m.fl. 2013).

2.4 Klassifisering av økologisk tilstand basert på foraminiferer og støtteparametere

Tilstandsklasser basert på foraminiferer er vist i Tabell 2 og er hentet fra M633/2016 og Alve m.fl. (2019). Tilstandsklasser for støtteparametere er vist i

Tabell 3 (Veileder 02/2013 revidert 2015).

Tabell 2. Klassifiseringssystem for foraminiferer med tilstandsklasser for diversitetsindeksene ES_{100} og $H'(\log_2)$ (M633/2016) og sammensatt indeks NQI (Alve m.fl. 2019). Fargekoder og klassegrenser for nEQR er iht. Veileder 02/2013 revidert 2015.

Indeks	Tilstandsklasser				
	I	II	III	IV	V
	Svært god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
ES_{100}	35 - 18	18 - 13	13 - 11	11 - 9	9 - 0
$H'(\log_2)$	5 - 3,4	3,4 - 2,4	2,4 - 1,8	1,8 - 1,2	1,2 - 0
NQI	1 - 0,54	0,54 - 0,45	0,45 - 0,31	0,31 - 0,13	0,13 - 0
nEQR	1-0,8	0,8-0,6	0,6-0,4	0,4-0,2	0,2-0

Tabell 3. Tilstandsklasser for støtteparametere oksygen i bunnvann og normalisert total organisk karbon (TOC) etter Veileder 02/2013 revidert 2015.

Parameter	Tilstandsklasser				
	I	II	III	IV	V
	Svært god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Oksygen (ml O_2/l)	>4,5	4,5-3,5	3,5-2,5	2,5-1,5	<1,5
Oksygen metning (%)	>65	65-50	50-35	35-20	<20
Normalisert TOC	0-20	20-27	27-34	34-41	41-200

3 RESULTATER

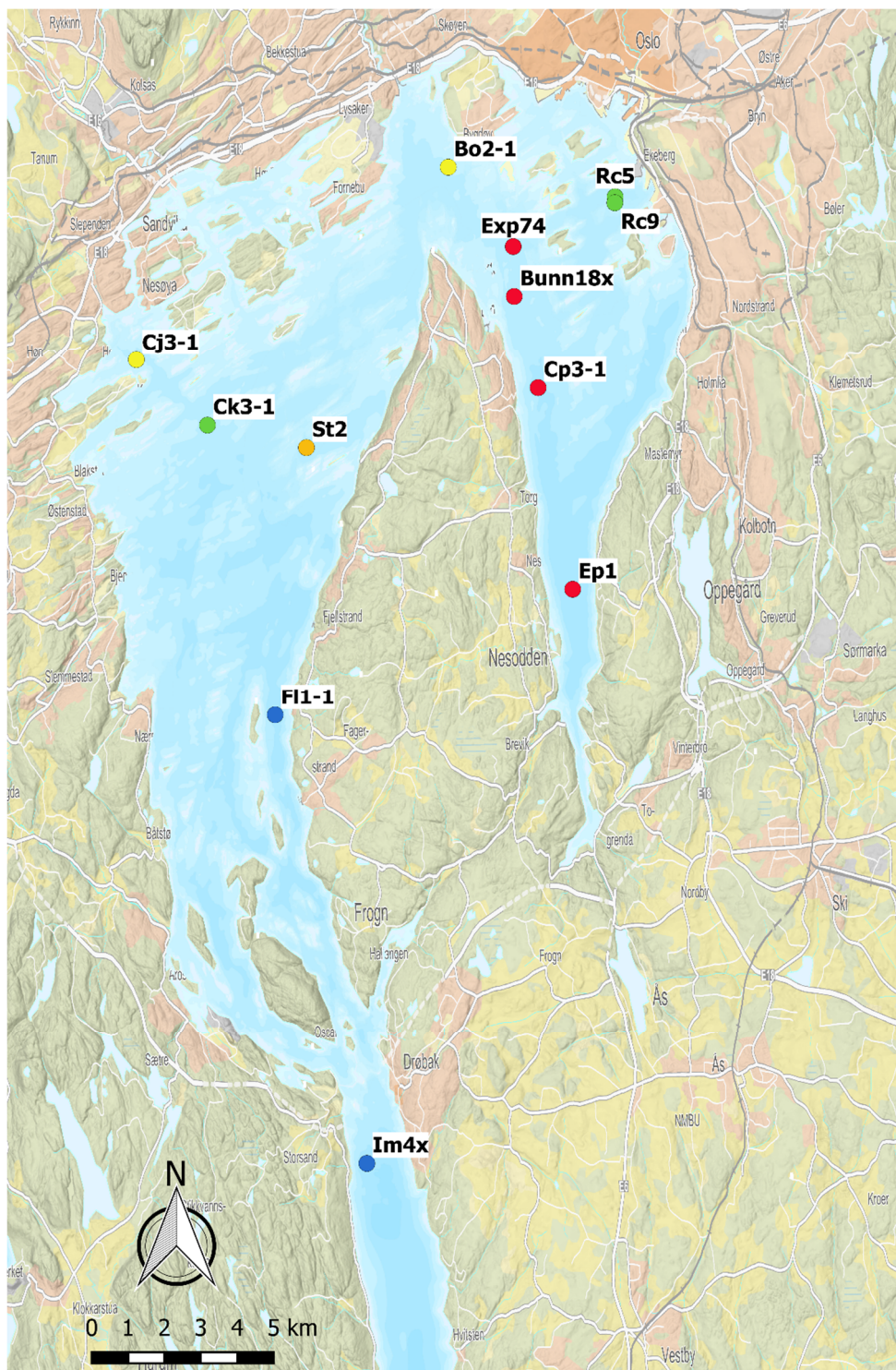
3.1 Økologisk tilstand basert på foraminifer-indeks

Beregnete tilstandsklasser for de to diversitetsindeksene (ES_{100} , $H'(\log_2)$) og NQI, er vist i Tabell 4. Samlet nEQR-verdi for hver stasjon er vist i Tabell 4 og i Figur 2.

Resultatene fra foraminiferundersøkelsene i Indre Oslofjord i oktober 2017 viser at den økologiske tilstanden i Bunnfjorden stort sett er i tilstandsklasse V («svært dårlig»). I Bekkelagsbassenget (RC5 og RC9) viser resultatene tilstandsklasse II («god»). I Lysakerfjorden (Bo2-1) er tilstanden «moderat» (tilstandsklasse III). I Vestfjorden varierer tilstanden fra «dårlig» (IV) i Steilenebassenget (St 2) til «svært god» (I) på stasjon Fl1. Utenfor Drøbak viser resultatene «svært god» tilstand (I) på stasjon Im4x.

Tabell 4. Beregnede indeksverdier (gjennomsnitt av fire replikater) og utregning av en samlet nEQR for hver 2017-stasjon. Stasjon Ep1 og Bunn18x hadde for få individer til beregning av indekser og reflekterer følgelig «svært dårlige» miljøforhold. For fargekoder og klassegrenser, se Tabell 2.

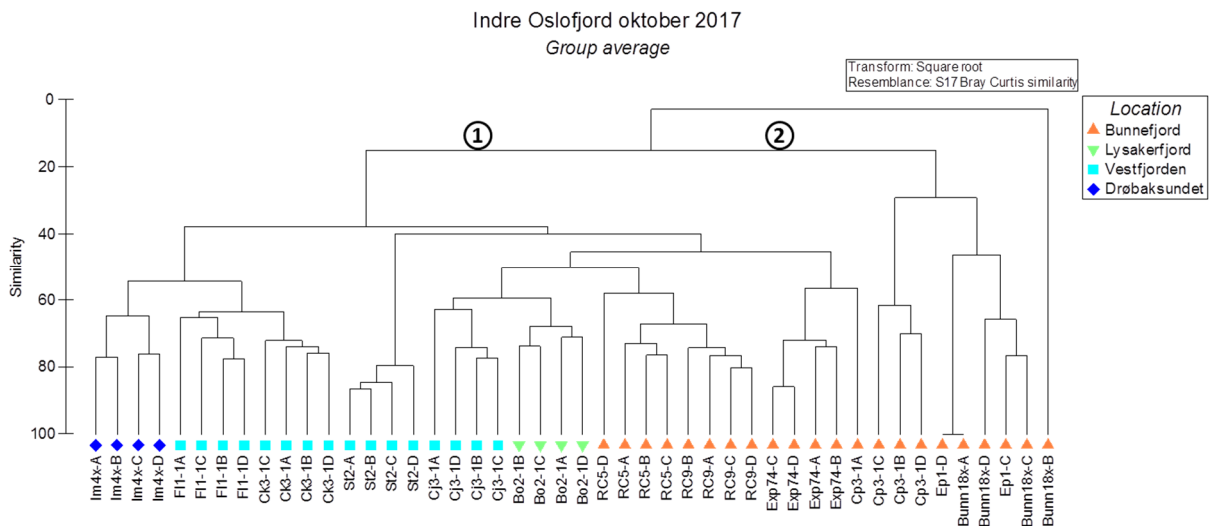
Stasjon	Området		ES ₁₀₀	H'(log ₂)	Foram-NQI	Samlet nEQR stasjon
Ep1	Bunnefjorden	snitt 4 replik	---	---	---	
	152m	nEQR				---
Cp3-1	Bunnefjorden	snitt 4 replik	5,06	0,99	0,19	
	100m	nEQR	0,11	0,16	0,27	0,182
Bunn18x	Bunnefjorden	snitt 4 replik	---	---	---	
	83m	nEQR				---
Exp74	Bunnefjorden	snitt 4 replik	5,70	0,70	0,17	
	74m	nEQR	0,13	0,12	0,24	0,163
RC5	Bekkelagetbas	snitt 4 replik	15,63	2,61	0,39	
	54m	nEQR	0,71	0,64	0,51	0,620
RC9	Bekkelagetbas	snitt 4 replik	14,91	2,96	0,39	
	49m	nEQR	0,68	0,71	0,51	0,632
Bo2-1	Lysakerfjorden	snitt 4 replik	12,86	2,38	0,33	
	55m	nEQR	0,59	0,59	0,43	0,537
Cj3-1	Vestfjorden	snitt 4 replik	14,40	2,52	0,33	
	58m	nEQR	0,66	0,62	0,43	0,569
Ck3-1	Vestfjorden	snitt 4 replik	18,59	3,42	0,47	
	87m	nEQR	0,81	0,80	0,63	0,748
St2	Vestfjorden	snitt 4 replik	7,14	1,55	0,24	
	63m	nEQR	0,16	0,32	0,32	0,265
Fl1-1	Vestfjorden	snitt 4 replik	21,61	3,80	0,57	
	164m	nEQR	0,84	0,85	0,81	0,835
Im4x	Drøbaksundet	snitt 4 replik	25,67	4,28	0,65	
	157m	nEQR	0,89	0,91	0,85	0,882



Figur 2. Økologisk tilstand i utvalgte områder av Indre Oslofjord basert på foraminiferundersøkelser i oktober 2017. Foraminiferdataene er basert på gjennomsnittsverdier for levende faunaer i fire replikater per stasjon. For fargekoder, se Tabell 2.

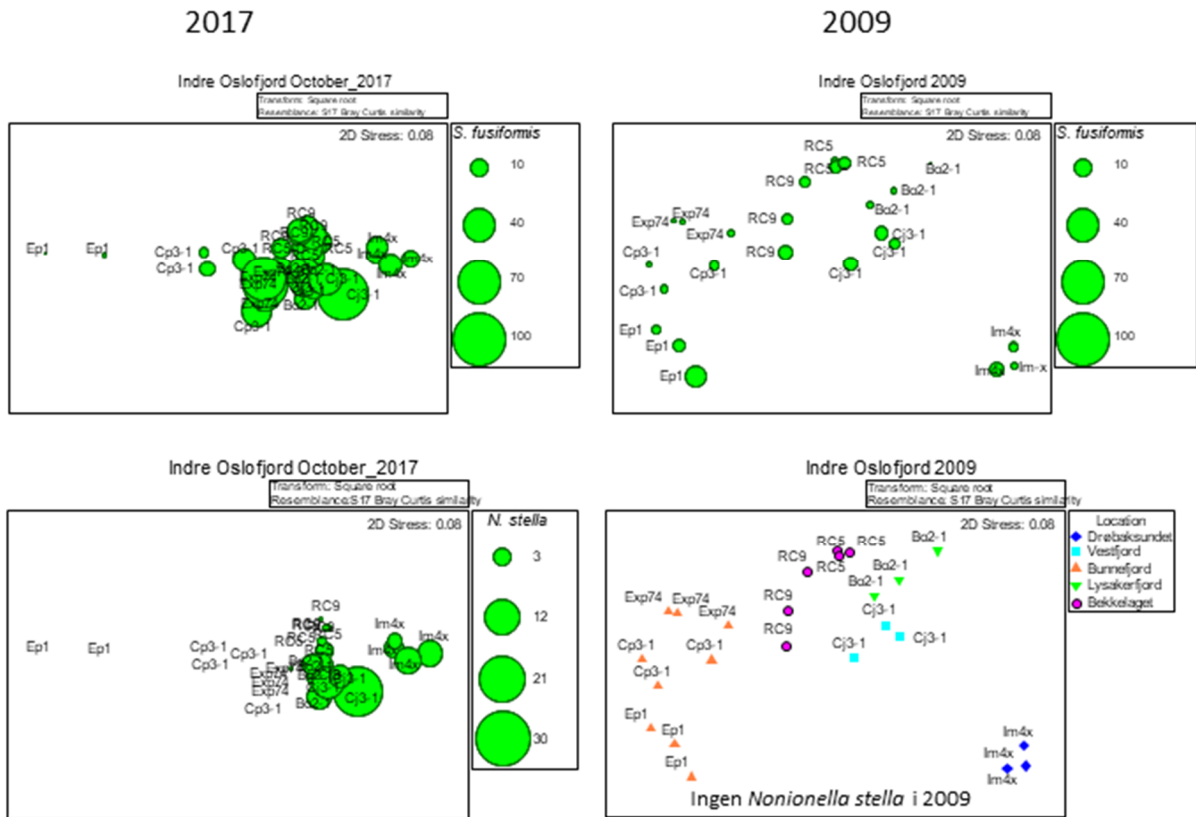
3.2 Klyngeanalyse og bobleplott

Klyngeanalysen, som reflekterer likhet mellom prøvene, definerer to hovedgrupper av foraminiferfaunaer (Figur 3). Diagrammet avspeiler en gradvis endring i faunasammensetningen fra utenfor Drøbakerskelen, via Vestfjorden og innover til de dypeste deler av Bunnefjorden (fra venstre til høyre i Figur 3). Den ene hovedgruppen (gruppe 1 i Figur 3) er delt i to subgrupper hvorav den venstre består av faunaene utenfor Drøbakerskelen og i de sydlige, dypere deler (87-164 m) av Vestfjorden. Den andre subgruppen består av de grunnere faunaene på 49-74 m vanddyb i Vestfjorden, Lysakerfjorden og i de nordlige deler av Bunnefjorden. Den andre hovedgruppen (gruppe 2 i Figur 3) er representert ved de individ- og artsfattige faunaene (Tabell 7) i de oksygenfattige områdene, på større enn 80 m vanddyb i Bunnefjorden. For de aller fleste stasjonene er det en høy grad av likhet mellom alle replikatene. Unntaket er de tre dype, individfattige stasjonene (Bunn18x, Cp3-1, Ep1) på større enn 80 m vanddyb i Bunnefjorden.



Figur 3. Klyngeanalyse basert på levende foraminiferfaunaer i 4 replikater (A-D) for hver stasjon. Analysen viser en tydelig gruppering av de levende foraminiferfaunaene langs et profil fra området utenfor Drøbakerskelen (venstre del av figuren) via de dype, sørlige deler av Vestfjorden og de grunnere deler av Vestfjorden/Lysakerfjorden/Bunnefjorden (hovedgruppe 1) til de dypere deler av Bunnefjorden (høyre del; hovedgruppe 2). For geografisk plassering av stasjonene, se kartet, Figur 2.

Boblediagrammene viser betydelig større forekomst av *Stainforthia fusiformis* i 2017 sammenliknet med 2009 (Figur 4). *Nonionella stella*, som er vanlig på alle Vestfjordstasjonene samt på stasjon Im4x utenfor Drøbakerskelen i 2017, ble ikke observert på noen stasjoner i 2009 (Figur 4).



Figur 4. Absolutt hyppighet (antall individer/cm² illustrert ved størrelsen på boblene) av den opportunistiske arten *Stainforthia fusiformis* (øverste rad) i 2017 (venstre kolonne) sammenliknet med hyppigheten i 2009 (høyre kolonne). Nederste rad viser hyppigheten av den nylig introduserte arten *Nonionella stella* som kun ble observert i 2017 (ikke 2009). For sammenlikningens skyld er bare stasjoner prøvetatt i begge år benyttet.

3.3 Totalt organisk karbon og C/N-forhold

De fleste undersøkte stasjoner i 2017 viser svært høyt innhold av total organisk karbon (TOC) i sedimentene (tilstandsklasse V) (Tabell 5). Det ene unntaket er stasjon RC5 som ble tildekket av ren, postglasial, marin leire i 2007 som del av en tiltaksrettet opprydding av forurensede sedimentet i Bekkelagsbassenget. Det andre unntaket er stasjonen utenfor Drøbakterskelen (referansestasjonen Im4x). C/N-verdiene er relativt stabile innen undersøkelsesområdet (9,2 - 12,8; Tabell 5).



Tabell 5. Total organisk karbon (TOC) og C/N-verdier fra prøver innhentet i 2017. For noen av stasjonene er det også vist kornfordeling og TOC-verdier fra 2009 (* = Rygg, pers. kom.) og naturtilstanden (Dolven og Alve 2010). TS = tørt sediment. Fargekodene er iht. Veileder 02/2013 revidert 2015.

Stasjon	2017				2009*			Naturtilstand (eldre enn 1900)		
	<63µm (%)	% TS	C/N (average)	Normalisert TOC mg/g	<63µm (%)	% TS	Normalisert TOC mg/g	<63µm (%)	% TS	Normalisert TOC mg/g
Ep1	73	4,6	10,1	51,0	62	2,8	34,4	92	1,4	15,9
Cp3-1	84	7,8	9,2	80,8	40	3,2	42,3	94	1,3	14,4
Bunn 18x	69	6,1	9,9	67,0	nd	3,1	nd	94	1,6	17,2
Exp 74	56	5,6	10,8	64,2	nd		nd	nd	nd	nd
RC-5	94	1,4	9,8	14,8	76	1,5	19,3	nd	1,5	nd
RC-9	48	4,6	12,8	55,7	60	3,1	38,2	nd	1,5	nd
Bo2-1	62	4,9	11,3	55,9	50	3,6	44,7	87	1,5	17,7
Cj3-1	77	4,6	10,8	49,8	59	3,0	37,1	94	1,9	19,8
Ck3-1	74	3,8	10,7	43,0	78	2,8	32,1	nd	nd	nd
St2	78	5,2	10,5	55,4	nd		nd	92	1,6	17,3
Fl1	86	4,3	10,6	45,8	81	3,3	36,2	80	1,7	20,9
lm 4x	75	3,5	10,9	39,0	nd	2,2	nd	76	1,6	20,5

3.4 Hydrografiske data

På innsamlingstidspunktet var temperaturen i bunnvannet i underkant av 8 °C i hele undersøkelsesområdet. Den var imidlertid svakt høyere på stasjonene i Bunnefjorden (7,6-8,0 °C) enn i Vestfjorden og ut over Drøbakterskelen (7,3-7,5 °C; Tabell 6).

Saliniteten varierer mellom 31,0 og 34,7 i bunnvannet innen undersøkelsesområdet. De laveste verdiene er observert på de to grunneste målestasjonene, dvs. i Bekkelagsbassenget (RC5 og RC9). Verdiene er noe høyere (32,2-32,9) i Vestfjorden, og på større enn 73 m i Bunnefjorden (33,1-33,3). Den høyeste verdien på 34,7 ble målt utenfor Drøbakterskelen på 168 m.

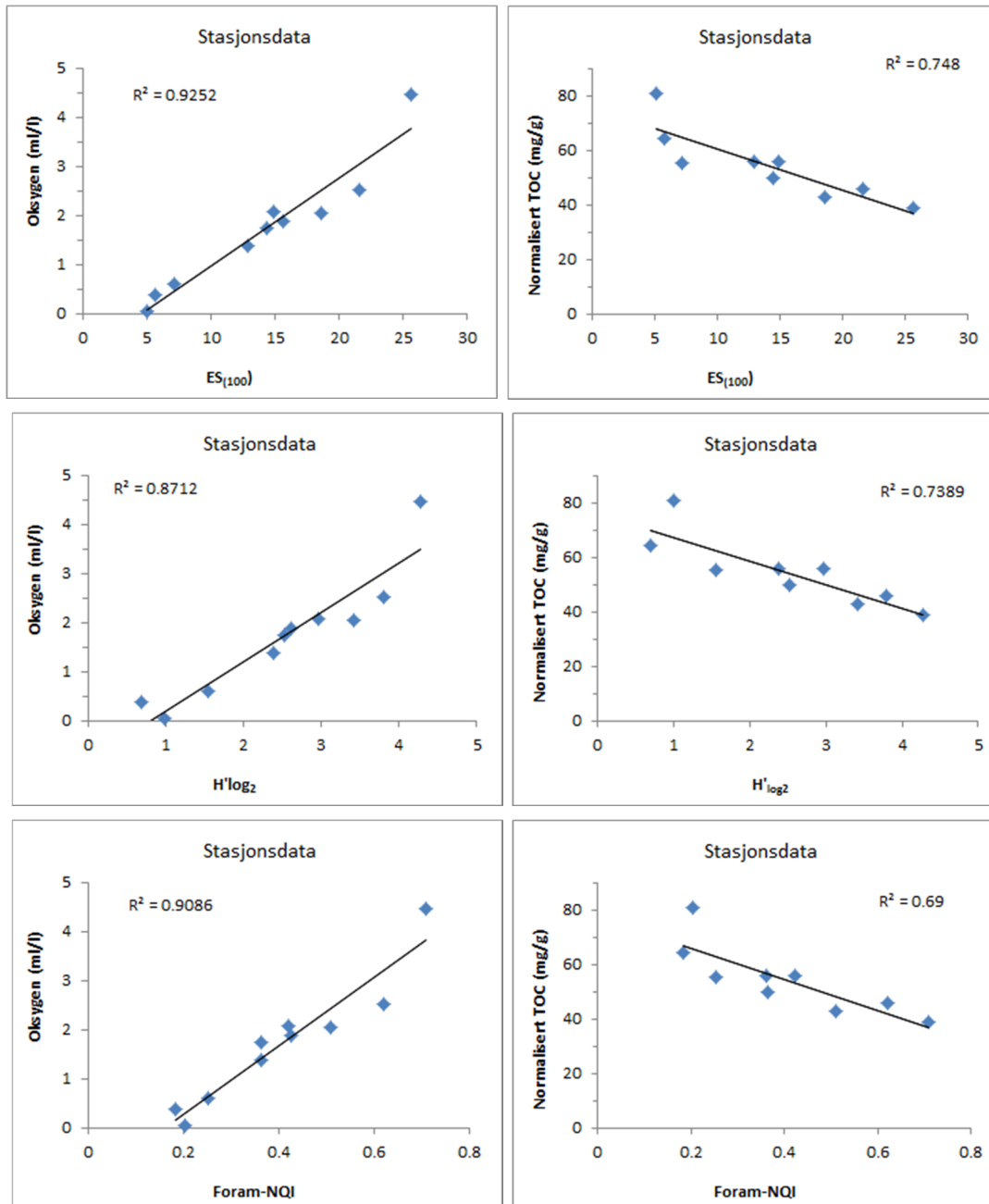
Oksygenforholdene i bunnvannet i oktober 2017 spenner over alle tilstandsklasser fra «svært dårlig» på større enn 70 m vanddyb i Bunnefjorden og på St 2 i Steilenebassenget (Vestfjorden), via «dårlig» i Bekkelagsbassenget (RC5 og RC9) og NV deler av Vestfjorden (Cj3-1, Ck3-1) til «moderat» i dypere, sydlige deler av Vestfjorden (Fl1) og «god» utenfor Drøbakterskelen (Tabell 6). Data fra 2009 er også vist på de stasjoner hvor oksygendata er tilgjengelig.

Tabell 6. Hydrografiske data (temperatur, salinitet og oksygen) fra bunnvannet på undersøkte stasjoner i 2017. Oksygendata i bunnvann fra 2009 er også vist (data fra NIVA og UiO). Fargekodene er iht. Veileder 02/2013 revidert 2015.

Stasjon	2017						2009
	Vanndyp m	Temperatur °C	Salinitet ppm	Oksygen %		Oksygen ml/l	Oksygen ml/l
Ep1	150	7,8	33,2	0,5	0,1	0,04	0
Cp3-1	99	7,8	33,2	0,7	0,1	0,05	nd
Bunn18x	83	7,9	33,2	0,5	0,0	0,03	nd
Exp74	73	8,0	33,1	5,8	0,6	0,39	1,03
RC5	54	7,6	31,5	27,5	2,7	1,89	3,09
RC9	50	7,8	31,0	30,3	2,9	2,08	2,82
Bo2-1	53	7,8	32,5	20,6	2,0	1,40	4,15
Cj3-1	57	7,5	32,2	25,4	2,5	1,74	nd
Ck3-1	86	7,4	32,3	30,0	2,9	2,06	4,98
St2	64	7,7	32,9	8,8	0,8	0,59	nd
Fl1	164	7,3	32,4	36,9	3,6	2,53	5,3
lm4x	168	7,4	34,7	66,3	6,3	4,47	5,58

3.5 Korrelasjon mellom faunaindeksere og miljøparametere

Innen undersøkelsesområdet viser både diversitetsindeksene (ES_{100} og H'_{\log_2}) og den sammensatte indeksen NQI meget god korrelasjon med konsentrasjonen av løst oksygen i bunnvannet på innsamlingstidspunktet (Figur 5). Korrelasjonene mellom indeksene og normalisert TOC er også gode, men noe svakere enn for oksygen. Faunaindeksene på to av stasjonene på større enn 80 m vanddyb i Bunnefjorden (Ep1 og Bunn18x; Tabell 4) kunne ikke beregnes pga. for lavt individantall (<100; Tabell 7).



Figur 5. Korrelasjon mellom hhv. oksygenkonsentrasjonen (ml/l) i bunnvannet (venstre) og normalisert TOC (mg/g) i sedimentet (0-1 cm) (høyre) på innsamlingstidspunktet (oktober 2017) og hver av tre beregnede indekser (ES_{100} , H'_{\log_2} og NQI) basert på bentiske foraminiferer. Faunadataene representerer gjennomsnitt av fire replikater fra hver av åtte stasjoner i Indre Oslofjord og en stasjon rett utenfor Drøbakterskelen. TOC-data for stasjon RC5 er utelatt da verdien er påvirket av det postglasiale leirlaget som ble spredt i deler av Bekkelagsbassenget som tildekkingsmasser i 2007.



3.6 Variabilitet

På stasjon Im4x utenfor Drøbakerskelen øker det kumulative artsantallet jevnt fra 41 til 73 for replikat 1 til 6, antallet stabiliserer seg på 75 arter fra og med den 7. replikaten og ender på 76 arter med den 10. replikaten (



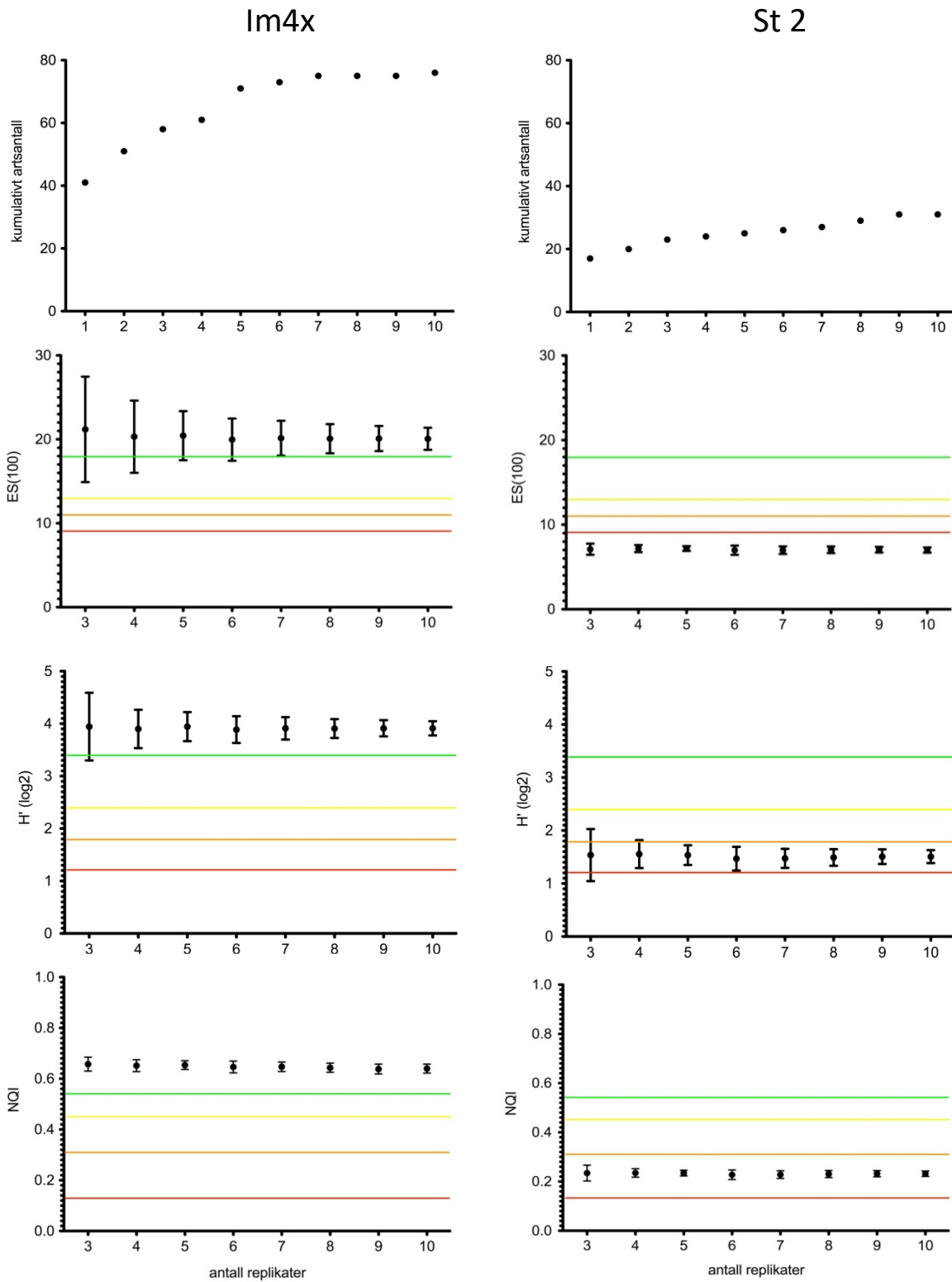
Figur 6). Det kumulative antall arter i Steilenebassenget, St 2, øker jevnt fra 17 til 31 for de første 9 replikatene og ingen nye arter introduseres med replikat nummer 10. Artsdiversitetsindeksene $H' \log_2$ og ES_{100} samt den sammensatte indeksen NQI viser betydelig høyere verdier på 1m4x enn på St 2 (



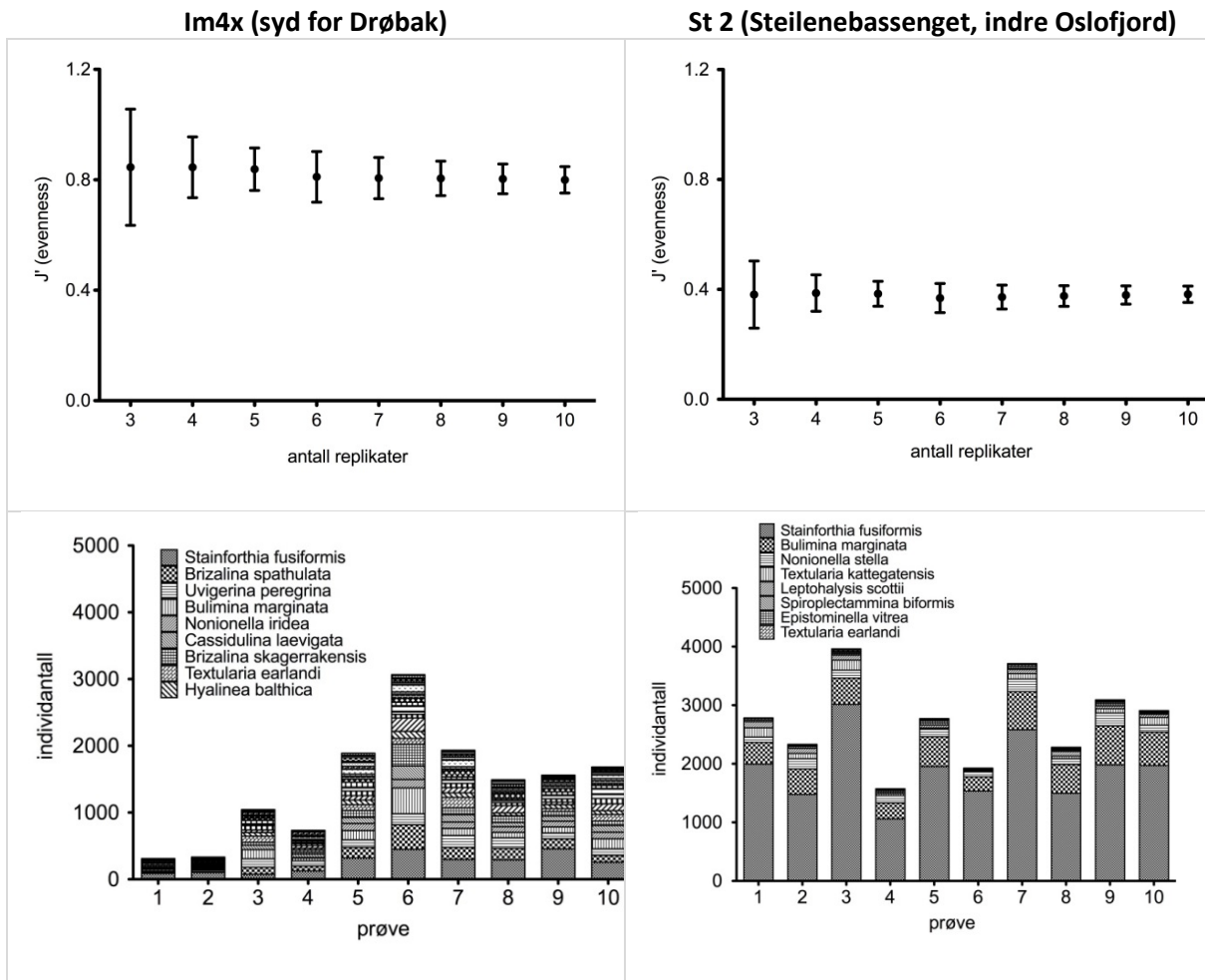
Figur 6). $H' \log_2$ varierer fra 4,06 til 4,49 på Im4x og fra 1,13 til 1,75 på St 2. De tilsvarende tallene for ES_{100} og NQI er henholdsvis 22,2-29,5 og 0,60-0,67 for Im4x, og 6,9-7,4 og 0,19-0,25 for St 2. Det er ingen signifikant forskjell mellom replikatene for noen av indeksene.

Det er heller ingen signifikant forskjell mellom replikatene for jevnheten som viste dobbelt så høye verdier på Im4x som på St 2. Som forventet avtok variabiliteten med økende antall replikater. Sistnevnte var mest påtakelig for Im4x.

Antall individer per $6,3 \text{ cm}^2$ (= 1/8 av prøvetatt areal pr replikat) varierte fra 373 til 3161 på Im4x og fra 1580 til 3967 på St 2 (Figur 7), med gjennomsnittsverdier på hhv. 1467 og 2740. Begge stasjoner domineres av *Stainforthia fusiformis*, men den relative hyppigheten av arten er betydelig høyere på St 2 (70 %) enn på Im4x (17 %).



Figur 6. Fra øverst til nederst: Kumulativt antall arter, samt gjennomsnittsverdier med 95 % konfidensintervall beregnet for tre til og med ti replikater for hver av indeksene ES_{100} , H'_{log2} og NQI for stasjonene Im4x og St 2. Horisontale fargede linjer viser øvre grenseverdi for økologiske tilstandsklasser basert på bentiske foraminiferer (for fargekoder og klassegrenser, se Tabell 2).

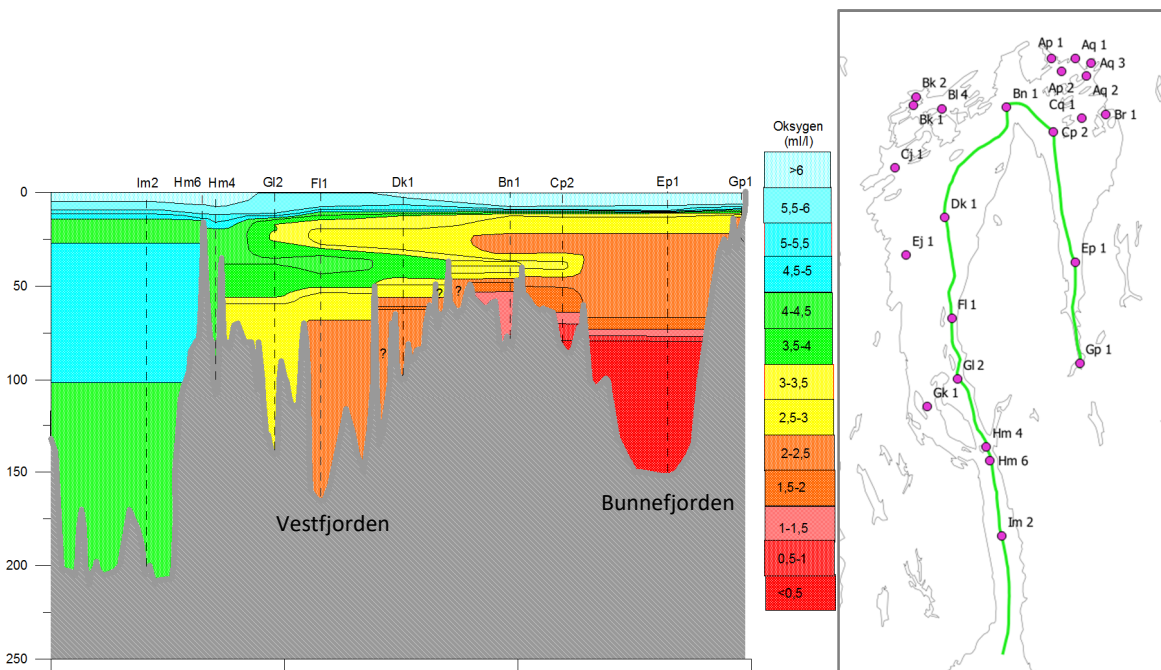


Figur 7. Øverst: Gjennomsnittsverdier av jevnhet (J') med 95 % konfidensintervall beregnet for tre til og med ti replikater for stasjonene Im4x (syd for Drøbakterskelen) og St 2 (Steilenebassenget, indre Oslofjord). Nederst: Antall individer per 6,3 cm² (tilsvarende 1/8 av prøvetatt areal) for de vanligste artene i hver av replikatprøvene på stasjonene Im4x og St 2.

4 DISKUSJON

4.1 Økologisk tilstand

De innsamlede oksygendataene fra oktober 2017 stemmer overens med målinger foretatt av Norconsult omkring 2 uker senere (Figur 8). For de dypere deler av Bunnefjorden gjenspeiler de «svært dårlige» oksygenforholdene fortsettelsen av en stagnasjonsperiode med manglende dypvannsutskifting som har vart siden 2014 (Norconsult 2017). Foraminiferindeksene på større enn 70 m vanndyp i Bunnefjorden avspeiler disse forholdene (Tabell 7).



Figur 8. Oksygenforholdene (ml/l) gjennom Indre Oslofjord og ut i Drøbaksundet i oktober 2017 (figurer hentet fra Norconsult 2017). Farger etter tilstandsklasser for oksygen i dypvannet (Veileder 02/2013 revidert 2015).

Foraminiferindeksene avspeiler betydelig bedre økologisk tilstand i Vestfjorden enn i Bunnefjorden (Tabell 4, Figur 2). Det eneste unntaket er Steilenebassenget (St 2) hvor nEQR tilsvarende «dårlig» tilstand. Basert på de normaliserte TOC-verdiene (Tabell 5) er det rimelig å anta at tilførselen av organisk materiale til Steilenebassenget er på samme nivå som de øvrige stasjonene i Vestfjorden. Årsaken til den dårlige tilstanden er sannsynligvis begrenset dypvannsutskifting i dette bassenget som er delvis avsnørt fra Vestfjorden for øvrig. Denne antakelsen er støttet av undersøkelser foretatt av studenter ved Institutt for geofag, Universitetet i Oslo, høsten 2016.

I det store og hele indikerer den sterke korrelasjonen mellom foraminiferindeksene og oksygenkonsentrasjonene (Figur 5), samt klyngeanalysen (Figur 3), at faunaen avspeiler oksygenforholdene i bunnvannet. Nylig avsluttede interkalibreringer mellom makrofauna og benthiske foraminiferer viser signifikante korrelasjoner for de tre faunaindeksene benyttet i den foreliggende undersøkelsen (Alve m. fl. 2019). Det er således belegg for å hevde at foraminiferresultatene presentert her reflekterer levevilkårene langs bunnen av Indre Oslofjord og ut over Drøbakerskelen svært godt.

En sammenlikning av indeksresultatene fra 2017 med resultatene fra 2009 (basert på levende foraminiferer, Hess upubl. data) viser mange likhetstrekk. På tross av at både normaliserte og ikke-

normaliserte TOC-verdier viser en klar økning i overflatesedimentene fra 2009 til 2017 (Tabell 5), er forskjellene i indeksverdiene stort sett for små til at man kan trekke sikre konklusjoner.

I det tidligere anoksiske Bekkelagsbassenget er det imidlertid en klar forbedring i tilstandsklasse på stasjon RC9. Dette indikerer at den positive utviklingen observert i perioden 2008-2010 (Hess m. fl. 2014), som ble initiert i forbindelse med flytting av utløpsledningen fra Bekkelaget renseanlegg i 2001 (Berge m. fl. 2011), fremdeles fortsetter. I Lysakerfjorden (Bo2-1) og Vestfjorden (Cj3-1) er det en generell forverring (nedgang i indeksverdier og tilstandsklasser) fra 2009 til 2017. Utenfor Drøbaksterskelen er den økologiske tilstanden vedvarende «svært god».

Sammenliknet med naturtilstanden som ble beregnet basert på fossile foraminiferfaunaer i daterte sedimentkjerner i Indre Oslofjord (Dolven og Alve 2010) er det spesielt i Bunnefjorden et stort avvik mellom dagens økologiske tilstand («svært dårlig») og naturtilstanden («svært god»). I ytre deler av Vestfjorden og utenfor Drøbaksterskelen samsvarer nåværende tilstand svært godt med naturtilstanden (Tabell 7).

Tabell 7. Tilstandsklasser for ES₁₀₀, H'(log₂) og NQI. * = basert på foraminiferene i de øvre 0-2 cm sediment og 3 replikater; mens RC data er fra 0-1 cm (Hess unpubl. data). Stasjon Ep1 og Bunn18x samt Cp3-1 i 2009 hadde for få individer til beregning av indekser og reflekterer følgelig «svært dårlige» miljøforhold. ** = Dolven m.fl. (2013). For fargekoder og klassegrenser, se Tabell 2.

Stasjon	Benevnelse	Vanndyp (m)	2017					2009*					Naturtilstand basert på foraminifera**		
			Total # arter	Gj.sn indiv./cm ²	Gj.sn ES ₁₀₀	Gj.sn H'(log ₂)	Gj.sn Foram-NQI	Total # arter	Gj.sn indiv./cm ²	Gj.sn ES ₁₀₀	Gj.sn H'(log ₂)	Gj.sn Foram-NQI	ES ₁₀₀	H'(log ₂)	Alder (år)
Ep1	Bunnefjord	152	1	< 1	---	---	---	1	8	---	---	---	24,9	4,0	før 1900
Cp3-1	Bunnefjord	100	12	20	5,06	0,99	0,19	5	3	---	---	---	23,4	3,8	før 1900
Bunn18x	Bunnefjord	83	2	1	---	---	---						19,4	3,2	før 1900
Exp74	Bunnefjord	74	20	64	5,70	0,70	0,17	7	2	---	---	---			
RC5	Bekkelaget	54	36	50	15,63	2,61	0,39	27	24	14,0	3,1	0,37			
RC9	Bekkelaget	49	29	52	14,91	2,96	0,39	18	14	9,2	2,1	0,28			
Bo2-1	Lysakerfjord	55	30	46	12,86	2,38	0,33	24	20	16,0	3,4	0,56	18,4	3,2	før 1900
Cj3-1	Vestfjord	58	36	90	14,40	2,52	0,33	31	21	16,2	3,1	0,50	27,2	4,1	før 1900
Ck3-1	Vestfjord	87	53	71	18,59	3,42	0,47								
St2	Vestfjord	63	24	425	7,14	1,55	0,24								
Fl1-1	Vestfjord	164	50	58	21,61	3,80	0,57						30,5	4,4	før 1900
Im4x	Drøbaksunde	157	58	104	25,67	4,28	0,65	42	108	23,08	3,96	0,67	28,5	4,4	~ 1930

4.2 Variabilitet

Det er gjennomført ti replikate samfunnsanalyser for foraminiferer på stasjoner; en i et belastet område (St2) og en i et relativt upåvirket område (Im4x). Resultatene viser at verken de diversitetsbaserte indeksene eller den sammensatte indeksen NQI endres signifikant ved analyse av flere enn tre replikater på hver av de to undersøkte stasjonene Im4x og St 2. Resultatene viser imidlertid at for få replikate analyser vil kunne føre til en annen tilstandsklasse enn den som er den «korrekte» for stasjonen (Figur 6). For diversiteten (H'), er fire replikater påkrevd for at statistisk testing skal gi innordning av begge stasjonene i «korrekt» tilstandsklasse, hhv. IV (dårlig) for St2 og I (svært god) for Im4x. For ES₁₀₀ vil St2 være i tilstandsklasse V (svært dårlig) med tre replikater og det er behov for syv replikater for at Im4x skal tilordnes tilstandsklasse I (Svært god). For NQI er



variabiliteten så lav at tre replikater er tilstrekkelig for «korrekt» tilordning for faunaen på begge stasjoner.

Et økt antall replikater vil gi høyere test-styrke, det vil si større evne til å detektere forskjell mellom to grupper eller en gruppe og en verdi hvis det virkelig er en forskjell. I overvåking er begge deler aktuelt.

Den lave jevnheten (J') på St 2 sammenliknet med Im4x har en direkte sammenheng med den sterke dominansen av *Stainforthia fusiformis*. Denne arten er tilordnet økologisk gruppe V, som viser en klar positiv respons på anrikning av organisk materiale, innen klassifiseringssystemet for ForAMBI (Alve m. fl. 2016). *S. fusiformis* er en typisk opportunistisk art som dominerer sterkt oksygenfattige bassenger både langs den svenske og den norske Skagerrakkysten (e.g. Gustafsson og Nordberg 2001; Alve 2003). Antallet individer er sterkt korrelert med oksygenkonsentrasjonen i bunnvannet (Alve m.fl. 2019). Den dobbelt så høye individtettheten på St 2 sammenliknet med Im4x avspeiler manglende konkurranse fra andre organismer pga. dårlige oksygenforhold, men også betydelig bedre næringsbetingelser på St 2.

4.3 Invaderende art

Nonionella stella ble opprinnelig beskrevet som en stedegen art for det nordøstlige Stillehav (Cushman og Moyer 1930). Den har nå en vid geografisk utbredelse. I Skandinavia ble levende individer av arten funnet og rapportert i Gullmarfjorden på den svenske vestkysten i 2011 (Polovodova Asteman og Schönfeld 2015). I Indre Oslofjord ble den første gang observert høsten 2012 (Hess og Alve unpubl. data). I 2017-prøvene er *N. stella* en vanlig og til dels hyppig forekommende art, spesielt i Vestfjorden og på stasjon Im4x utenfor Drøbakerskelen (Figur 4). Den regnes som en invaderende art og er trolig fraktet til våre kystfarvann med ballastvann.

5 KONKLUSJONER

Konklusjonene bygger på 1) resultater fra analyser av levende foraminiferfaunaer, kornfordeling, total organisk karbon og C/N-forhold i bunnsedimenter samt hydrografiske data (temperatur, salinitet og oksygen) samlet inn på 12 stasjoner i Indre Oslofjord og rett utenfor Drøbakerskelen i oktober 2017 og 2) sammenlikning av 2017-resultatene med tilsvarende undersøkelser fra 2009 og informasjon om naturtilstanden som tidligere er beregnet basert på fossile foraminiferfaunaer i daterte sedimentkjerner fra syv av stasjonene.

- I to sub-bassenger avviker den økologiske tilstanden fra tilstanden i deres respektive hovedbasseng. Det gjelder Steilenebassenget (St 2) i Vestfjorden med tilstandsklasse «dårlig» (IV) og Bekkelagsbassenget (RC5 og RC9) nordøst i Bunnefjorden med tilstandsklasse «god» (II). Sistnevnte skyldes miljøforbedringstiltak igangsatt tidlig på 2000-tallet.
- Det er en svært god korrelasjon mellom de målte oksygenkonsentrasjonene i bunnvannet og både diversitetsindeksene og den sammensatte indeksen, NQI. Korrelasjonene mellom indeksene og normalisert TOC er også gode, men noe svakere enn for oksygen. En klyngeanalyse som beskriver likheter i faunassammensetningen mellom alle stasjonene støtter opp om dette. Samlet gir dette en sterk indikasjon på at oksygen er en av de viktigste faktorene som styrer både de struktur- og samfunnsmessige egenskapene ved foraminiferfaunene i Indre Oslofjord. De kan følgelig bidra med viktig informasjon om



levetilstandene på fjordbunnen slik forholdene er i dag (levende faunaer) og slik de var i tidligere tider (fossile faunaer).

- En sammenlikning med data innhentet i 2017 med tilsvarende data fra 2009 på åtte stasjoner viser liten endring i de levende foraminiferfaunaene. Sammenliknet med naturtilstanden, som stort sett viser «svært god» tilstand på de syv stasjonene hvor dette tidligere er beregnet (basert på fossile foraminiferfaunaer), er avviket betydelig for Bunnefjorden og noe mindre for de nordlige deler av Vestfjorden. I sydlige deler av Vestfjorden og utenfor Drøbaksterskelen samsvarer nåværende tilstand med naturtilstanden.
- Resultatene indikerer at den negative utviklingen i levetilstandene på bunnen er knyttet til økt tilførsel av organisk materiale til Indre Oslofjord fra naturtilstanden og frem til i dag.
- For diversitet (H') er fire replikater påkrevd for at statistisk testing skal gi innordning av begge stasjonene i korrekt tilstandsklasse.

6 REFERANSER

Alve, E., 1999. Colonization of new habitats by benthic foraminifera: a review. *Earth-Science Reviews* 46, 167-185.

Alve, E., Hess, S., Bouchet, V.M.P., Dolven, J.K., Rygg, B., 2019. Intercalibration of benthic foraminiferal and macrofaunal biotic indices: An example from the Norwegian Skagerrak coast (NE North Sea). *Ecological Indicators* 96, 107-115.

Alve, E., Helland, A., Magnusson, J., 2009a. Bærumsbassenget et naturlig anoksisk basseng? NIVA-report 5735-2009, 30 sider.

Alve, E., Lepland, A., Magnusson, J., Backer-Owe, K., 2009b. Monitoring strategies for re-establishment of ecological reference conditions: possibilities and limitations. *Marine Pollution Bulletin* 59, 297-310.

Berge, J.A., Amundsen, R., Bjerkeng, B., Borgersen, G., Bjerknes, E., Gitmark, J.K., Gjørseter, J., Grung, M., Gundersen, H., Holth, T.F., Hylland, K., Johnsen, T., Knutsen, H., Ledang, A.B., Lømsland, E.R., Magnusson, J., Nerland, I.L., Olsen, E.M., Paulsen, Ø., Rohlack, T., Sørensen, K., Waldy, M., 2011. Overvåking av forurensningssituasjonen i Indre Oslofjord 2010. Rapport/Report 6181-2011, Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Oslo.

Bouchet, V.M.P., Alve, E., Rygg, B., Telford, R.J., 2012. Benthic foraminifera provide a promising tool for ecological quality assessment of marine waters. *Ecological Indicators* 23, 66-75.

Buzas, M. A., Hayek, L. C., Reed, S. A., Jett, J. A., 2002. Foraminiferal densities over five years in the Indian River lagoon, Florida: a model of pulsating patches. *Journal of Foraminiferal Research* 32, 68-93.

Bray, J.R., Curtis, J.T., 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27: 325-349.

Clarke, K.R., Gorley, R.N., 2006. Primer v6: User manual/tutorial. Primer-E Ltd, Plymouth.

Cushman, J.A., Moyer, D.A., 1930. Some Recent foraminifera from off San Pedro, California. *Cushman Laboratory for Foraminiferal Research Contributions*, 6, 49-62.



Dolven, J.K., Alve, E., 2010. Naturtilstanden i Indre Oslofjord. Fagrådet for vann- og avløpsteknisk samarbeid i Indre Oslofjord. Rapport no. 106. ISBN 978-82-91885-39-1. 86 sider.

Dolven, J.K., Alve, E., Rygg, B., Magnusson, J., 2013. Defining past ecological status and in situ reference conditions using benthic foraminifera: A case study from the Oslofjord, Norway. *Ecological Indicators* 29, 219-233.

Ferraro, S.P., Swartz, R.C., Cole, F.A., Deben, W.A., 1994. Optimum macrobenthic sampling protocol for detecting pollution impacts in the southern California Bight. *Environmental Monitoring and Assessment* 29, 127-153.

Gustafsson, M., Nordberg, K., 2001. Living (stained) benthic foraminiferal response to primary production and hydrography in the deepest part of the Gullmar Fjord, Swedish West Coast, with comparisons to Höglund's 1927 material. *Journal of Foraminiferal Research* 31, 2–11.

Hess, S., Alve, E., Reuss, N., 2014. Benthic foraminiferal recovery in the Oslofjord (Norway): Responses to capping and re-oxygenation. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* 147, 87-102.

Kebede, S.G., 2015. Capping of contaminated sediments in a formerly anoxic basin in Inner Oslofjord, Norway: Temporal processes and ecological effects. MSc thesis in Geosciences, University of Oslo, 60 sider.

M-633/ 2016; Pedersen, A., Alve, E., Alvestad, T., Borgersen, G., Dolven, J.K, Gundersen, Hess, S., Kutti, T., Rygg, B., Velvin, R., Vedal, J.: Bløtbunnsfauna som indikator for miljøtilstand i kystvann. Ekspertvurderinger og forslag til nye klassegrenser og metodikk. 59 sider.

Morvan, J., Debenay, J-P., Jorissen, F., Redois, F., Beneteau, E., Amato, A.-S., 2006. Patchiness and life cycle of intertidal foraminifera: Implication for environmental and paleoenvironmental interpretation. *Marine Micropaleontology* 61, 131-154.

Norconsult, 2017. Toktrapport for oktober 2017: <http://www.indre-oslofjord.no/uploads/Toktrapport5-17.10.2017.pdf>

Polovodova Asteman, I., Schönfeld, J. 2015. Recent invasion of the foraminifer *Nonionella stella* Cushman & Moyer, 1930 in northern European waters: evidence from the Skagerrak and its fjords. *J Micropalaeontology* 35, 2015-007.

Schönfeld, J., Alve, E., Geslin, E. Korsun, S., Jorissen. F., Spezzaferri, S., and members of the FOBIMO group, 2012. The FOBIMO (FOraminiferal Blo-MONitoring) initiative - Towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropaleontology* 94-95, 1-13.

Veileder 02/2013 revidert 2015. Klassifisering av miljøtilstand i vann - Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver. 263 sider.



7 VEDLEGG

Vedlegg 1: Posisjoner og vanddyb for innhentede prøver (replikater) fra Im4x og St 2 i variabilitetsstudien.

Station	Replikat	Sted	Nord	Øst	Vanddyb (m)
Im4x	A	Drøbaksundet	59,644966	10,61364	157
Im4x	B	Drøbaksundet	59,644791	10,613704	159
Im4x	C	Drøbaksundet	59,644573	10,613536	157
Im4x	D	Drøbaksundet	59,644306	10,613304	155
Im4x	E	Drøbaksundet	59,644138	10,613682	161
Im4x	F	Drøbaksundet	59,644272	10,61397	164
Im4x	G	Drøbaksundet	59,644424	10,613797	160
Im4x	H	Drøbaksundet	59,644558	10,614079	164
Im4x	I	Drøbaksundet	59,644737	10,614169	165
Im4x	J	Drøbaksundet	59,644993	10,613946	161
St2	A	Steilene	59,822094	10,592574	63
St2	B	Steilene	59,821968	10,592115	63
St2	C	Steilene	59,821709	10,592228	63
St2	D	Steilene	59,821629	10,591881	63
St2	E	Steilene	59,821323	10,592093	63
St2	F	Steilene	59,821182	10,592752	64
St2	G	Steilene	59,821503	10,592649	63,5
St2	H	Steilene	59,821495	10,593272	64
St2	I	Steilene	59,821754	10,592893	63,5
St2	J	Steilene	59,821922	10,593456	64