

Næringsnett og miljøgifter
i Gunneklevfjorden
Beslutningsgrunnlag og
tiltaksplan for forurensede
sedimenter i Gunneklevfjorden,
Delrapport aktivitet 2



RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14


| | | |
|---|--|----------------------|
| Tittel Næringsnett og miljøgifter i Gunneklevfjorden Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensede sedimenter i Gunneklevfjorden, Delrapport aktivitet 2. | Løpenr. (for bestilling) 6795-2015 | Dato 05.02.2015 |
| | Prosjektnr. Undernr. 0-12354 2 | Sider Pris 30 |
| Forfatter(e) Marianne Olsen, Bjørnar Beylich og Hans Fredrik Veiteberg Braaten | Fagområde Marin | Distribusjon Åpen |
| | Geografisk område Gunneklevfjorden, Telemark | Trykket NIVA |

| | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| Oppdragsgiver(e) Norsk Hydro | Oppdragsreferanse Bernt Malme |
|---------------------------------|----------------------------------|

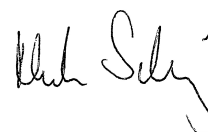
Sammendrag

Næringsnett og miljøgifter i organismer er undersøkt i Gunneklevfjorden i 2013. Det er samlet inn zooplankton, bunndyr og fisk for kjemiske analyser av kvikksølv og klorerte forbindelser. Kartlegging av næringsnettet er gjort ved analyse av stabile isotoper av C og N. I tillegg er sedimentenes habitatkvalitet undersøkt ved hjelp av sedimentprofilkamera (SPI) og det er gjort en kartlegging av vegetasjonsområdet i den sørlige delen av fjorden. Materialet gir ikke grunnlag til å skille næringsnett knyttet til ulike områder av fjorden, men innsamlingen gir inntrykk av større mangfold og individtetthet i tilknytning til vegetasjonsområdet. Det er et relativt enkelt næringsnett, som spenner over 6-7 trofiske nivå. Toppredatorene er i hovedsak abbor, gjedde og ål. Habitatkvaliteten i sedimentet er vurdert til å være mindre god, og for mange av de undersøkte stasjonene var det ikke mulig å gjøre en analyse av habitatkvalitet basert på sedimentprofilfotografering (SPI) fordi sedimentet var for bløtt. Konsentrasjonene av kvikksølv i fisk er under anbefalte verdier for konsum (0,5 µg/g våtvekt) for de fleste individene i materialet, bortsett fra enkelte abbor, de fleste ål og den ene skrubben som inngikk i materialet. Konsentrasjonene av dioksiner og furaner er under EUs grense (4 ng TE/kg våtvekt) for fisk og fiskerivarer for alle fiskearter bortsett fra ål. Konsentrasjonene av HCB og OCS i fisk er lavere enn ved tidligere undersøkelser. Det er vist bioakkumulering og biomagnifisering i næringsnettet for både kvikksølv og klorerte forbindelser.

| | |
|---------------------|-----------------------|
| Fire norske emneord | Fire engelske emneord |
| 1. Gunneklevfjorden | 1. The Gunneklevfjord |
| 2. Miljøgifter | 2. Contaminants |
| 3. Næringsnett | 3. Food web |
| 4. Sediment | 4. Sediment |



Kristoffer Næs
Prosjektleder



Morten Schaanning
Forskningsleder

Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensede
sedimenter i Gunneklevfjorden

Næringsnett og miljøgifter i Gunneklevfjorden

Delrapport Aktivitet 2

Forord

Denne rapporten er en delrapport under prosjektet *Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensede sedimenter i Gunneklevfjorden*, der NIVA har prosjektledelsen med Kristoffer Næs som prosjektleder.

Oppdragsgiver er Norsk Hydro med kontaktperson Bernt Malme.

Prosjektet gjennomføres i samarbeid med NGI, der Espen Eek er intern prosjektleder. Rapporten oppsummerer arbeidet i aktivitet 2, som undertegnede har vært ansvarlig for.

Feltarbeid har vært gjennomført i 2013 og 2014. Kartlegging av undervannsvegetasjon er gjennomført av Marianne Olsen, NIVA, i samarbeid med Frithjof Moy, IMR og Marit Mjelde, NIVA, Innsamling av biota har vært gjennomført av Marianne Olsen, NIVA, med bistand fra Frithjof Moy, IMR, Christian Robstad, HiT og Jarand Fredheim som feltassistent. SPI-undersøkelser er gjennomført av Bjørnar Beylich, NIVA. Kjemiske analyser er gjennomført av Marianne Olsen (TotHg i sediment og biota) og Hans Fredrik Veiteberg Braaten, NIVA (MeHg i sediment og biota), NIVA. Klorerte forbindelser er analysert ved Ökometric GmbH, Tyskland.

Takk til alle bidragsytere for godt samarbeid og til Herøya Motorbåtforening for bryggeplass og varmestue under feltarbeidet.

Oslo, 05.02.2015

Marianne Olsen

Innhold

| | |
|--|-----------|
| Sammendrag | 5 |
| Summary | 6 |
| 1. Innledning | 7 |
| 1.1 Bakgrunn | 7 |
| 1.2 Formål og gjennomføring | 8 |
| 2. Material og metode | 8 |
| 2.1 Innsamling og kjemisk analyse av biologisk materiale | 8 |
| 2.1.1 Innsamling av fisk | 9 |
| 2.1.2 Innsamling av bunnlevende organismer | 10 |
| 2.1.3 Innsamling av zooplankton | 11 |
| 2.2 Analyse av stabile isotoper og beregning av trofisk nivå | 11 |
| 2.3 Fotografering av sedimentprofil (SPI) | 11 |
| 3. Resultater | 14 |
| 3.1 Fauna og næringsnett | 14 |
| 3.2 SPI-undersøkelser av habitatkvalitet | 17 |
| 3.3 Kvikksølv i organismer | 20 |
| 3.3.1 Oppkonsentrering av kvikksølv i næringskjeden | 22 |
| 3.3.2 Bioakkumulering og biomagnifisering i abbor | 24 |
| 3.3.3 Metylkvikksølv i organismer | 25 |
| 3.3.4 Klorerte forbindelser i organismer | 26 |
| 4. Oppsummering | 29 |
| 5. Referanser | 30 |

Sammendrag

Næringsnett og miljøgifter i organismer er undersøkt i Gunneklevfjorden i 2013. Det er samlet inn zooplankton, bunndyr og fisk for kjemiske analyser av kvikksølv og klorerte forbindelser. Kartlegging av næringsnettet er gjort ved analyse av stabile isotoper. I tillegg er sedimentenes habitatkvalitet undersøkt ved hjelp av sedimentprofilkamera (SPI) og det er gjort en kartlegging av vegetasjonsområdet i den sørlige delen av fjorden.

Materialet gir ikke grunnlag til å skille næringsnett knyttet til ulike områder av fjorden, men innsamlingen gir inntrykk av større mangfold og individtetthet i tilknytning til vegetasjonsområdet.

Artsantallet i fjorden er relativt lavt, både av bunndyr og av fisk. Bunndyrsamfunnet er dominert av små og lite bioturberende organismer, og det finnes spesielt mye fjærmygglarver (Chironomidae). Det er registrert 5 fiskearter, med abbor som den dominerende i fangstene.

Næringsnettet i fjorden er basert både på et pelagisk og et littoralt startpunkt, og fisk generelt later til å basere seg på en kombinasjonsdiett. Det er et relativt enkelt næringsnett, som spenner over 6-7 trofiske nivå. Toppredatorene er i hovedsak abbor, gjedde og ål.

Habitatkvaliteten i sedimentet er vurdert til å være mindre god, og for mange av de undersøkte stasjonene var det ikke mulig å gjøre en analyse av habitatkvalitet basert på sedimentprofilfotografering (SPI). Dette skyldes i hovedsak at sedimentene var så bløte at sedimentprofilkameraet overpenetrerte sjøbunnen.

Konsentrasjonene av kvikksølv i bunndyr antyder sammenheng med sedimentkonsentrasjon.

Konsentrasjoner målt i bunndyr må imidlertid tolkes med forsiktighet fordi det er usikkerhet om betydningen av organismenes tarminnhold, som kan inneholde sedimentpartikler.

Konsentrasjonene av kvikksølv i fisk er under anbefalte verdier for konsum (0,5 µg/g våtvekt) for de fleste individene, bortsett fra enkelte abbor, de fleste ål og den ene skrubben som inngikk i materialet.

Nivåene av kvikksølv i det innsamlede materialet er noe lavere enn i tidligere undersøkelser men i samme størrelsesorden som nylige undersøkelser av ferskvannsfisk fra innsjøer i Telemark. Sammenligning med tidligere undersøkelser eller undersøkelser fra innsjøer må imidlertid gjøres med forsiktighet, og det er viktig å legge til grunn fiskens art, trofiske nivå, alder, lengde og tid på året for fangst. I tillegg kommer forhold som humusinnhold i vannet, som kan påvirke tilgjengeligheten av kvikksølv.

Konsentrasjonene av dioksiner og furaner er under EUs grense (4 ng TE/kg våtvekt) for fisk og fiskerivarer for alle fiskearter bortsett fra ål. Konsentrasjonene av HCB og OCS i fisk er lavere enn ved tidligere undersøkelser. Det er vist bioakkumulering og biomagnifisering i næringsnettet for både kvikksølv og klorerte forbindelser.

Summary

Title: Food web and contaminants in Gunneklevfjorden, Porsgrunn, Norway

Year: 2015

Author: Marianne Olsen, Bjørnar Beylich and Hans Fredrik Veiteberg Braaten

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6530-9

Food web structure and contaminants in the fauna have been investigated in Gunneklevfjorden in 2013. Analyses of mercury and chlorinated contaminants in zooplankton, benthic invertebrates and fish have been carried out. Mapping of the food web was done by analysis of stable isotopes of C and N. In addition, the sediment habitat quality was investigated with a sediment profile camera (SPI). Also, mapping of the subsea vegetation area in the southern part of the fjord was carried out in an adjacent activity. The investigation of fauna gave the impression of greater diversity and abundance of organisms within the vegetation area. However, the number of species in the fjord was found to be relatively low, both of benthos and fish. It was recorded 5 fish species, with Perch dominating in the catches. The food web in the fjord is based both on a pelagic and a littoral starting point, and fish in general seems to be based on a combination diet. It is a relatively simple food web, which range over 6-7 trophic levels. Top predators are mainly Perch, Pike and Eel. Habitat quality in the sediment is considered to be less good, and for many of the surveyed stations, it was not possible to do an analysis of habitat quality based on the sediment profile photography (SPI). This was due to the fact that the sediment was so soft that the sediment profile camera penetrated into the sea bottom.

There seem to be a correlation between concentration of mercury within benthic organisms and the concentrations found in the sediments. Concentrations measured in the benthic organisms must, however, be interpreted with caution because there is uncertainty about the influence of their intestinal content, which may contain sediment particles. Concentrations of mercury in fish are below the recommended values for consumption (0.5 µg/g wet weight) for the majority of the individuals in the material, except for some Perch, most Eels and the one Flounder caught. Mercury concentrations in this material is found to be lower than in a previous study but in the same order of magnitude as in a survey of fresh-water fish from lakes in Telemark county, Norway. Comparison with previous surveys or surveys from the lakes, however, must be done with care. It is important to take into consideration the species, trophic level, age, length and time of year. In addition, water chemistry can affect the availability of mercury.

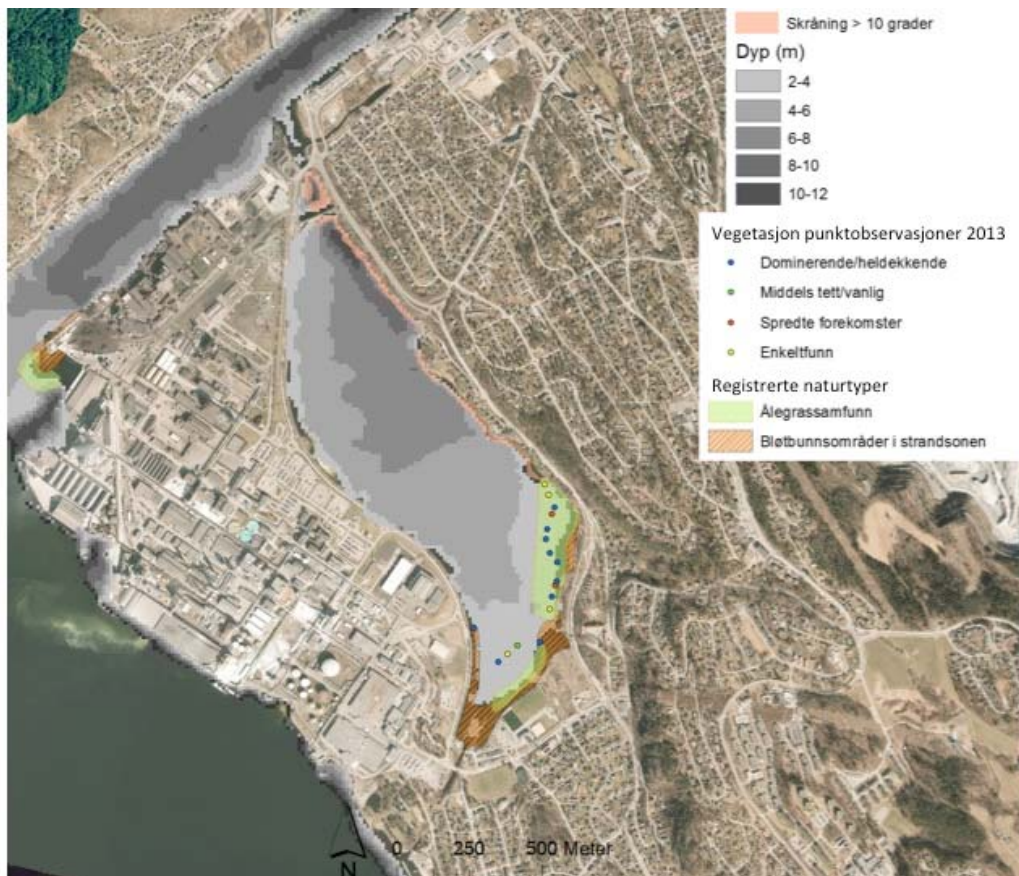
Concentrations of dioxins and furans were below the EU's limit for fish and fisheries goods (4 ng TE/kg wet weight) for all species of fish except for Eels. Concentrations of HCB and OCS in fish were lower than on previous surveys. Bioaccumulation and biomagnification are shown for both mercury and chlorinated compounds.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Biologisk beskrivelse av Gunneklevfjorden med kartlegging av næringsnett og miljøgifter i organismer inngår som en av flere aktiviteter i prosjektet *Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensede sedimenter i Gunneklevfjorden*. Prosjektet er et oppdrag fra Norsk Hydro til NIVA i samarbeid med NGI. Prosjektets formål er å fremskaffe et beslutningsgrunnlag for tiltak mot forurensede sedimenter i Gunneklevfjorden, og er sammensatt av mange aktiviteter.

Naturtyper i Gunneklevfjorden ble kartlagt i aktivitet 1 og har gitt grunnlaget for kartleggingen av næringsnett og miljøgifter i aktivitet 2). Det ble registrert et bløtbunnsområde og en undervannseng i den sørlige delen av fjorden (figur 1). I Naturbase er lokaliteten registrert som et svært viktig ålegrassamfunn. Undervannsenga ble anslått å dekke 60 - 80 000 m². Vegetasjonen i undervannsenga er kartlagt og rapportert av Marit Mjelde som en egen aktivitet i prosjektet. I Mjeldes rapport (Mjelde, 2015) karakteriseres Gunneklevfjorden som en brakkvannsjø av svært viktig eller viktig verdi, og det er ikke funnet ålegrasarter der. Sammenliknet med andre lokaliteter med tilsvarende lav saltholdighet har Gunneklevfjorden et forholdsvis høyt artsantall av planter, men færre rødlistearter. Det antas at undervannsvegetasjonen i Gunneklevfjorden har samme økologiske funksjon som ålegrassamfunn i sjøvann. Økologisk funksjon av ålegrassamfunn er beskrevet av Christie et al. (2014) som konkluderer med at ålegrasenger har en viktig økologisk funksjon uavhengig av biomasse, tetthet eller plantenes høyde, og at det er viktig å ivareta undervannsvegetasjon for å ivareta biologisk mangfold, forekomst av smådyr og næringsområder for fisk.



Figur 1. Gunneklevfjorden med bløtbunnsområder og forekomst av undervannseng markert.
Kart: Trine Bekkby, NIVA

1.2 Formål og gjennomføring

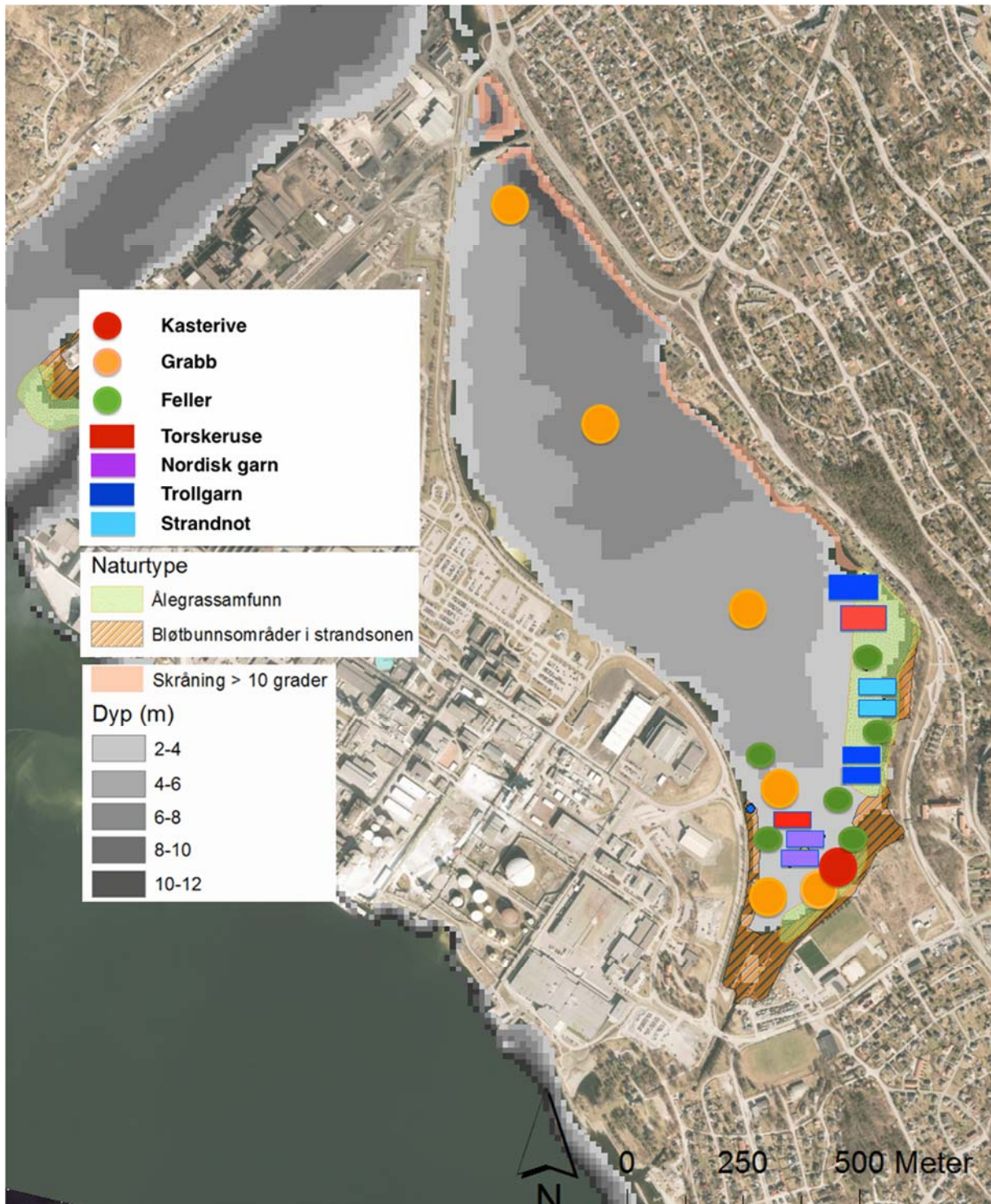
Aktiviteten har som hovedformål å kartlegge næringsnett i fjorden og om mulig skille næringsnett knyttet til ulike naturtyper eller delområder i fjorden. I tillegg er organismenes miljøgiftbelastning beskrevet og forsøkt knyttet til biotilgjengelighet av miljøgifter i ulike deler av fjorden. Ved hjelp av SPI-kamera er sedimentene i fjorden kartlagt og sedimentets habitatkvalitet vurdert. Biotilgjengelighet av miljøgifter er undersøkt gjennom prøvetaking og kjemisk analyse av sediment og porevann, og er rapportert av NGI i egen rapporten fra aktivitet 3 (Eek, 2015). Næringsnettet er kartlagt ved innsamling av organismer fra laveste til høyeste trofiske nivå. Fugl er imidlertid ikke samlet inn. Det er analysert for stabile isotoper av C og N i alle organismer. Forurensningsbelastningen i næringsnettet er kartlagt ved kjemiske analyser av kvikksølv og dioksin på flere trofiske nivå i næringsnettet.

I følge prosjektplanen skulle hvert delområde beskrives med hensyn på de biologiske kvalitetselementene som ihht Vannforskriften skal legges til grunn for tilstandsklassifisering av vannforekomster. Imidlertid benyttes foreløpig ikke kategorien brakkvann i norsk vannforvaltning, med de konsekvenser at det ikke foreligger definerte biologiske kvalitetselementer og klassegrenser (EQS) for brakkvannforekomster. I samråd med oppdragsgiver ble det valgt å ikke forsøke å gjøre en klassifisering av økologisk tilstand, så lenge det ikke foreligger en etablert metodikk. Økologisk tilstand er likevel kort omtalt i Marit Mjeldes rapport fra kartleggingen av undervannsvegetasjonen (Mjelde, 2015), og ved forsøksvis å benytte trofiindeks for innsjøer, som foreløpig verken er testet ut eller er gjeldende for brakkvannslokaliteter, er økologisk tilstand for vannvegetasjonen karakterisert som moderat tilstand.

2. Material og metode

2.1 Innsamling og kjemisk analyse av biologisk materiale

Biologisk materiale ble samlet inn i 2013, med formål å kartlegge næringsnett i Gunneklevfjorden og miljøgiftbelastningen i organismene. Det ble brukt garn, ruser, strandnot, grabb og feller samt innsamling av vegetasjon for å samle organismer (figur 2). Alle prøvene ble frysetørket og homogenisert før kjemiske analyser. Det ble laget blandprøver av zooplankton og av grupper av bunndyr. Alle prøvene ble analysert for totalkvikksølv (TotHg) og for de stabile isotopene ^{14}N , ^{15}N , ^{12}C og ^{13}C . Metylkvikksølv (MeHg) ble analysert i et utvalg av organismer, og de klorerte forbindelsene polyklorerte dibenso-p-dioksin/furan (PCDD/F), heksaklorbensen (HCB) og oktaklorstyren (OCS) ble analysert i blandprøver. TotHg ble analysert ved pyrolyse i en Lumex analysator ved Institutt for natur-, helse- og miljøvern (INHM), Høgskolen i Telemark (HiT). MeHg ble analysert på NIVA ved ekstraksjon og GC-CVAFS analyse og deteksjon. De klorerte forbindelsene ble analysert ved Ökometric GmbH, Tyskland. De stabile isotopene av C og N ble analysert ved Institutt for energiteknikk (IFE)s isotoplaboratorium.



Figur 2. Stasjoner for innsamling av organismer i Gunneklevfjorden i 2013. Ulike teknikker for innsamling er synliggjort ved fargekoder. Kart: Trine Bekkby, modifisert av Marianne Olsen.

2.1.1 Innsamling av fisk

Fisk ble samlet ved utsetting av trollgarn, nordiske garn og torskeruser. Det ble i tillegg trukket strandnot på to stasjoner. Fisket ble gjennomført i den sørlige delen av fjorden i august i 2013. Garn og ruser ble satt ut i to omganger i 2013 og stod begge gangene ute i ca. 24 timer.

Abbor dominerte fangstene med nesten 500 individer. Alle individer av abbor ble målt og delt i lengdegrupper. Det ble tatt ut 100 abbor for videre opparbeiding og analyse, fordelt på 5 lengdegrupper med 20 individer i hver gruppe. I tillegg ble det fisket gjedde, ål, skrubbe og sørv, og av disse artene ble all innsamlet fisk opparbeidet for videre analyse. Tillatelse til fiske av ål ble gitt av Fiskeridirektoratet.

All fisk ble fraktet fersk til laboratoriet og opparbeidet innen 48 timer. Det ble målt lengde og vekt, og det ble tatt ut vevsprøver fra ryggfilet for analyse av miljøgifter og stabile isotoper. Vevsprøvene ble frosset ned for senere frysetøking og kjemisk analyse. Det ble tatt ut otolitter for aldersbestemmelse fra alle fiskene. I de fleste individer ble det i tillegg tatt ut gjellelokk for supplerende aldersbestemmelse. Aldersbestemmelse ble gjennomført ved å dele otolittene i to, svi snittflatene og telle vekstsoner («årringer»). Gjellelokk ble gjennomlyst for å se vekstsoner.

2.1.2 Innsamling av bunnlevende organismer

Bunnlevende organismer ble samlet inn ved bruk av grabb og feller, og ved utvasking av vegetasjon. Fellene ble produsert av kjetting og kveiler av hamptau etter en metode utviklet av Hartvig Christie, NIVA (figur 3). Kveilene med hamptau fungerer som et kunstig substrat for bunndyr, og tidligere erfaring viser at dette kunstige substratet tiltrekker seg en størrelsesmessig mellom-fraksjon av organismer som vanligvis lever tilknyttet undervannsvegetasjon (Kraufvelin et al., 2002). Fellene stod ute på sjøbunnen i 1-3 døgn innenfor eller i nærheten av vegetasjonsområdet for å samle flest mulig organismer for kjemisk analyse. Hamptauet ble skylt godt i en bøtte med lokalt vann og vannet ble deretter silt gjennom siktsett med minste nettstørrelse 0,5 mm.

Grabbprøver ble vasket gjennom siktsett med minste nettstørrelse 0,5 mm.

Vegetasjon ble samlet inn ved hjelp av kasterive, og skylt godt i en bøtte med lokalt vann. Vannet ble deretter silt gjennom siktsett med minste nettstørrelse 0,5 mm for å fange opp organismer som hadde tilhold i vegetasjonen.



Figur 3. Feller for innsamling av bunnlevende organismer. Kjetting med kveiler av hamptau plasseres på bunnen og markeres på overflaten med bøye. Foto: Marianne Olsen, NIVA.

Alle organismer ble oppbevart levende i lokalt vann ca. 24 timer før de ble lagt på sprit for artsbestemmelse. Organismene ble artsbestemt til laveste mulige nivå og deretter frosset for senere frysetøking og kjemisk analyse. Snegl ble tatt ut av skallet etter artsbestemmelse og før de ble frosset ned. Kjemiske analyser ble gjort på blandprøver av arter innenfor samme orden eller familie.

2.1.3 Innsamling av zooplankton

Det ble gjennomført hovtrekk vertikalt ned til 5 meter (rett over bunnen) og horisontalt i overflaten (1-2 m) for å samle inn zooplankton til kjemisk analyse. Hover med maskevidde 45 og 100 μm ble benyttet. Plankton ble etter innsamling oppbevart kjølig i inntil 1 døgn i 2 liters plastflasker. Før artsbestemmelse ble planktonprøvene avvannet og oppkonsentrert ved hjelp av sil med masketørrelse 45 μm , og overført til mindre glassflasker tilsatt noen dråper fikseringsvæske Lugol. Plankton ble identifisert i lupe til laveste mulige nivå. Etter artsbestemmelse ble planktonprøvene frosset ned for senere frysetørring og kjemiske analyser. Analyser ble gjennomført på blandprøver av alle plankton fra horisontalt hovtrekk med maskevidde 45 og 100 μm , og på vertikalt hovtrekk med maskevidde 100 μm .

2.2 Analyse av stabile isotoper og beregning av trofisk nivå

Alle organismer som ble opparbeidet for miljøgiftanalyse ble også analysert for stabile isotoper av C og N ved IFEs isotoplaboratorie. Forholdet mellom de stabile isotopene ^{14}N og ^{15}N ($\delta^{15}\text{N}$), og ^{12}C og ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$) er benyttet til å beskrive organismenes plassering i næringskjeden (trofisk nivå) og næringskjedens primære karbonkilde (Cabana og Rasmussen, 1996). For hvert trofiske nivå i næringskjeden øker $\delta^{15}\text{N}$ med ca. 3,4 mens $\delta^{13}\text{C}$ er relativt stabil og øker bare med ca. 0,4 (Post, 2002). I akvatiske systemer kan $\delta^{13}\text{C}$ benyttes for å skille mellom et pelagisk eller littoralt startpunkt for næringskjeden, siden $\delta^{13}\text{C}$ signaturen for en littoralt basert næringskjede som starter med fastsittende alger og detritus, har en tendens til å være mindre negativ enn en pelagisk basert næringskjede som starter med fytoplankton (France, 1995).

Basert på analyse av de stabile isotopene kan organismens trofiske nivå beregnes. I beregningen inngår en korreksjon for næringsnettets utgangspunkt ("baseline"), som kan være enten pelagisk eller littoral (modell 1), eventuelt en kombinasjon av begge (modell 2) der det justeres for andelen av karbon fra pelagisk næringskjede (Post, 2002).

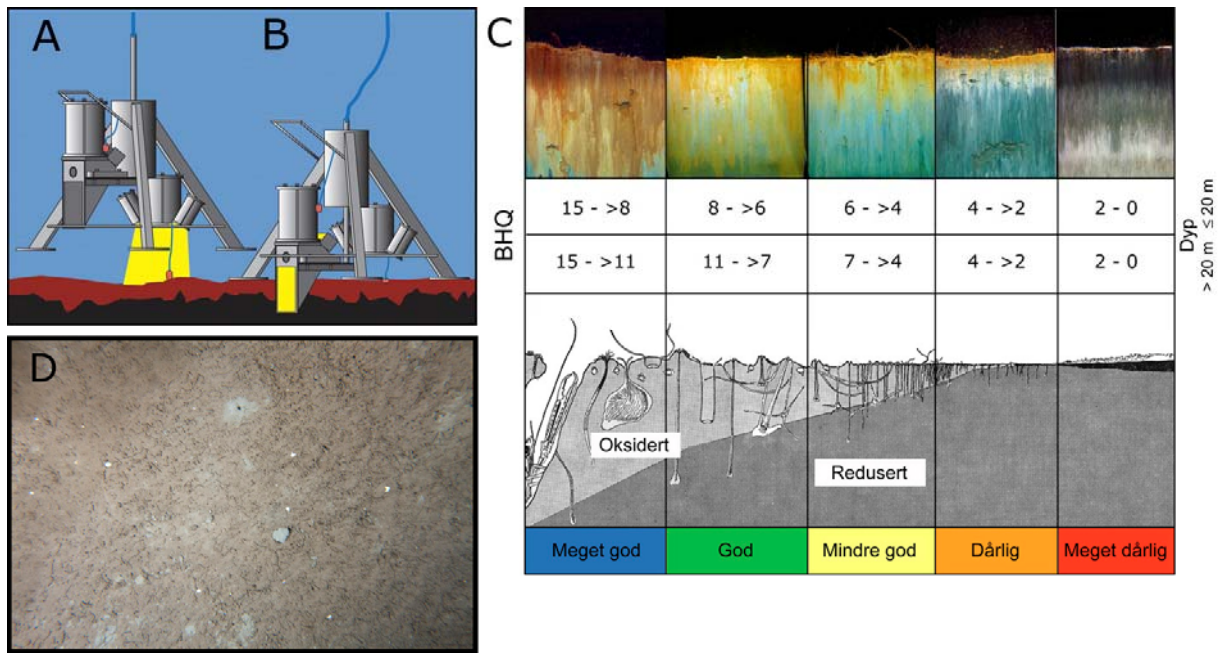
Modell 1: Trofisk nivå = $\lambda + (\delta^{15}\text{N}_{\text{organisme}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}})/3,4$

Modell 2: Trofisk nivå = $\lambda + (\delta^{15}\text{N}_{\text{organisme}} - [\delta^{15}\text{N}_{\text{pelagisk}} * \alpha + \delta^{15}\text{N}_{\text{littoral}} (1-\alpha)])/3,4$
der $\alpha = (\delta^{13}\text{C}_{\text{organisme}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{littoral}}) / (\delta^{13}\text{C}_{\text{pelagisk}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{littoral}})$

Ved beregning av trofisk nivå ble det for zooplankton valgt å benytte den blandprøven av zooplankton med den laveste $\delta^{15}\text{N}$ som baseline, og for bunndyr ble det benyttet en gjennomsnittsverdi av $\delta^{15}\text{N}$ for snegl. Begge disse verdiene ble anslått å representere trofisk nivå 2, dvs primære konsumenter. For all fisk ble det lagt til grunn en to-kilde modell med gjennomsnittsverdier av $\delta^{15}\text{N}$ for zooplankton (pelagisk baseline) og snegl (littoral baseline).

2.3 Fotografering av sedimentprofil (SPI)

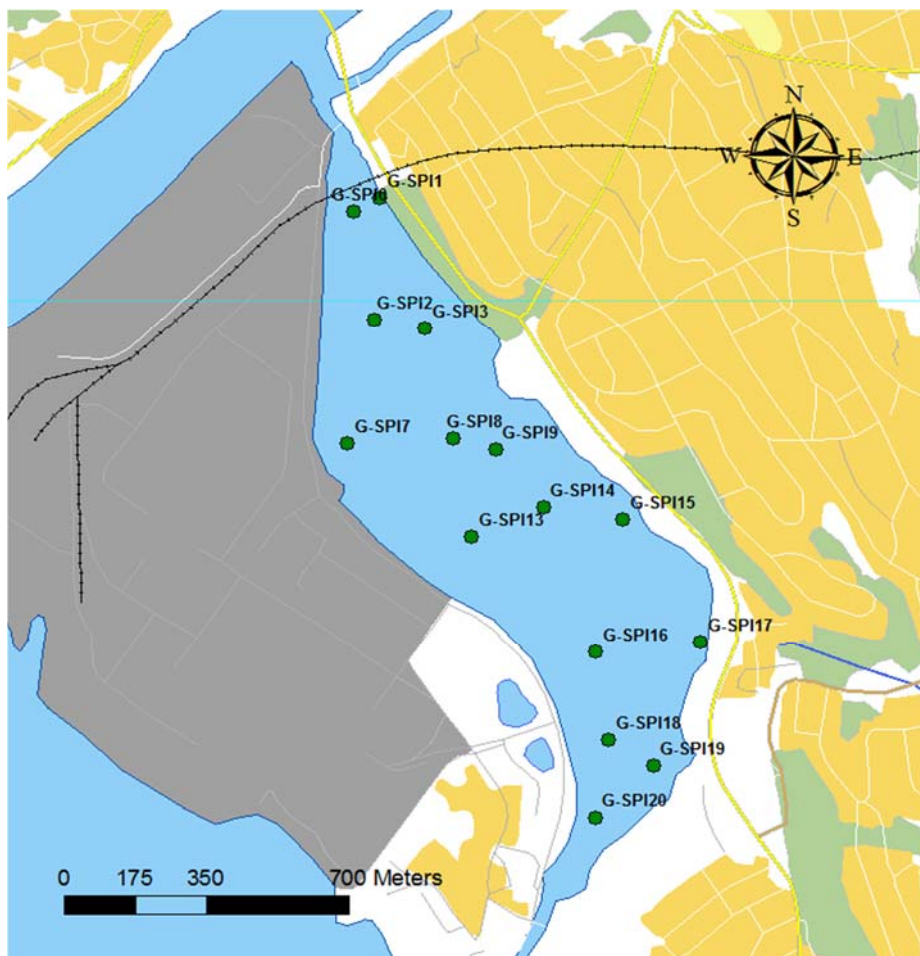
SPI er en rask metode for visuell kartlegging og klassifisering av sediment og bløtbunnfauna. Et digitalt kamera med blits er montert i et vanntett hus på en rigg med tre ben (figur 4). Denne senkes ned til sedimentoverflaten slik at en vertikal glassplate presses ca. 8-26 cm ned i sedimentet. Bildet tas gjennom glassplaten via et skråstilt speil som til sammen utgjør et prisme. Resultatet er digitale fotografier med detaljer både av strukturer og farger av overflatesedimentet. På riggen er det montert et overflatekamera som tar et bilde ($\approx 1/4\text{m}^2$) av sedimentoverflaten.



Figur 4. Prinsippskisse for SPI-kamera og bildeanalyse. (A) Rigg over bunnen. Gult antyder at det tas bilde av overflaten. (B) Kamera med prismet som har trengt ned i sedimentet og SPI bildet eksponeres. (C) Figuren viser en modell av endringer i faunatype fra upåvirkede bunnsedimenter med en rik, dyptgravende fauna (Meget god) til en grunnlevende, fattig fauna i påvirkede områder (Meget dårlig). Sedimentprofilbildet er vist i toppen av figuren, der brunt farget sediment indikerer oksidert, bioturbert sediment mens sortfarget sediment indikerer reduserte forhold. Grenseverdier for BHQ-miljøkvalitetsindeks for vanddyb ≤ 20 meter og > 20 m i samme skala som benyttes for marine sedimenter i EUs vanddirektiv (Pearson og Rosenberg, 1978, Nilsson og Rosenberg, 1997, Rosenberg et al., 2004, Nilsson og Rosenberg, 2006). (D) Eksempel av et overflatebilde med strukturer og børstemarkrør synlig. Figur hentet fra NIVAs faktaark om SPI.

Fra bildene kan en beregne en miljøindeks (Benthic Habitat Quality index; BHQ-indeks) ut fra strukturer i sedimentoverflaten (rør av børstemark, fødegrop og ekskrementhaug) og strukturer under sedimentoverflaten (bløtbunnsfauna, faunagang og oksiderte hulrom i sedimentet) samt redox-forhold i sedimentet. Indeksen varierer på en skala fra 0 til 15. Denne indeksen kan siden sammenlignes med Pearson og Rosenbergs (1978) klassiske modell for faunaens suksessjon. Fra denne modellen klassifiseres bunnmiljøet i samme skala som benyttes i EUs vanddirektiv (Rosenberg et al., 2004). BHQ-indeksen har god korrelasjon med parameterne brukt i tradisjonelle bunnfaunaundersøkelser (Rosenberg et al., 2004). Fra overflatebildene kan en studere og kvantifisere dyr på sedimentoverflaten og spor av deres aktivitet.

Det ble gjennomført en kartlegging av Gunneklevfjorden med sedimentprofilfotografering (SPI) på 15 stasjoner i oktober 2013 (figur 5). Kartleggingen er kort omtalt i rapport 1 (Olsen, 2014). Ved flere av stasjonene i Gunneklevfjorden var sedimentene så bløte at kamerariggen sank ned (overpenetrerte) i sedimentene (tabell 1).



Figur 5. SPI-stasjoner i Gunneklev i oktober 2013. Kameraet overpenetrerte stasjon 2 – 14 og 16, som alle er plassert i de sentrale områdene av fjorden, på grunn av løst bunnsbstrat. Kart: Bjørnar Beylich, NIVA.

Tabell 1. Stasjonsoversikt for SPI-kartlegging i Gunneklevfjorden, oktober 2013

| Stasjon | Dyp | Kommentar |
|----------|--------|--|
| G-SPI 0 | ukjent | Test av rigg: for hard sjøbunn for analyse |
| G-SPI 1 | 8 | |
| G-SPI 2 | 6 | overpenetrert |
| G-SPI 3 | 7 | overpenetrert |
| G-SPI 7 | 4 | overpenetrert |
| G-SPI 8 | 6 | overpenetrert |
| G-SPI 9 | 6,3 | overpenetrert |
| G-SPI 13 | 5,2 | overpenetrert |
| G-SPI 14 | 5,9 | overpenetrert |
| G-SPI 15 | 4,9 | |
| G-SPI 16 | 4,9 | overpenetrert |
| G-SPI 17 | 2,4 | |
| G-SPI 18 | 3,9 | |
| G-SPI 19 | 3,7 | |
| G-SPI 20 | 2,0 | |

3. Resultater

3.1 Fauna og næringsnett

Det er registrert en rekke vanlig forekommende ferskvannsarter av zooplankton i Gunneklevfjorden (tabell 2), med representanter for alle de tre gruppene som typisk dominerer i ferskvann: vannlopper, hoppekreps og hjuldyr. Dominans av vannloppen *Bosmina longirostris* over den trolig mest vanlige vannloppen i Norge, *Bosmina longispina*, er typisk i næringsrike vann. Hjuldyret *Keratella quadrata* er også mest vanlig i næringsrike vann, selv om den kan finnes i næringsfattige vann. Den har høy toleranse for saltholdighet og kan også finnes i saltvann.

Tabell 2. Forekomst av zooplankton samlet inn i Gunneklevfjorden i 2013 for kjemisk analyse. Innsamling er gjort ved hovtrekk horisontalt og vertikalt i vannsøylen, og med maskevidde 45 og 100 µm. Dominerende arter er uthevet.

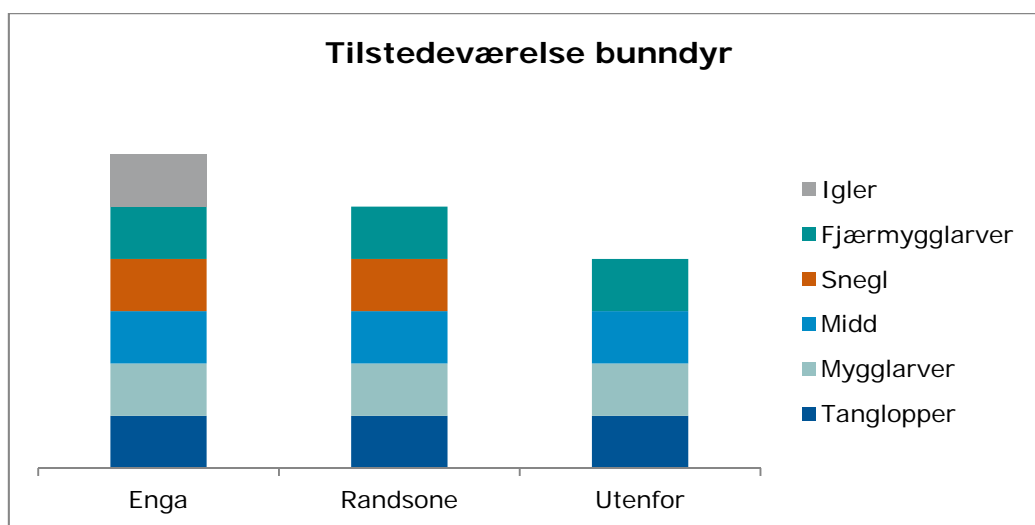
| | Art | Horisontalt 45 µm | Horisontalt 100 µm | Vertikalt 100 µm |
|--------------|-------------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| Hjuldyr | <i>Ascomorpha ovalis</i> | x | | |
| | <i>Brachionus sp</i> | x | | |
| | <i>Keratella quadrata</i> | x | x | x |
| | <i>Keratella cochlearis</i> | x | x | |
| | <i>Filina longiseta</i> | x | | |
| | <i>Polyarthra sp.</i> | x | x | x |
| | <i>Syncheta sp</i> | | x | |
| Hoppekreps | <i>Cyclops strenuus</i> | x | | |
| | <i>Eudiaptomus gracilis</i> | x | x | x |
| | <i>Cyclops abyssorum</i> | x | x | |
| | <i>Acanthodiaptomus denticornis</i> | | | x |
| Gelekreps | <i>Holopendium gibberum</i> | x | | |
| Vannloppe | <i>Bosmina longispina</i> | x | | |
| | <i>Bosmina longirostris</i> | x | x | x |
| | <i>Daphnia longispina</i> | x | | |
| | <i>Polyphemus pediculus</i> | x | x | x |
| | <i>Ceriodaphnia reticulata</i> | | | x |
| | <i>Leptodora kindtii</i> | | | x |
| Muslingkreps | Ostracoda | x | | |

Det er funnet et relativt lavt antall arter av både bunndyr (tabell 3) og fisk (tabell 4) i Gunneklevfjorden. Bunndyrsamfunnet er dominert av små og lite bioturberende organismer, og det finnes spesielt mye fjærmygglarver (Chironomidae). Dette er i samsvar med funn fra 2007 (Nerland et al.). Det ble funnet tomme skjell av vanlig sandskjell (*Mya arenaria*) i flere av grabbprøvene. Denne arten er vurdert som en sårbar art (VU) og er oppført på den norske rødlisten (Kålås et al., 2010). Det ble i tillegg registrert rur (*Balanus sp.*) på utstyr som var utplassert ut i fjorden en periode sommeren 2014, men disse ble ikke samlet inn for kjemisk analyse.

Tabell 3. Bunnlevende organismer samlet inn i Gunneklevfjorden i 2013. Rur ble observert på utstyr plassert ut i fjorden en periode i 2014, men ble ikke analysert. Sandskjell ble utelukkende funnet tomme.

| Art | Blandprøve for kjemisk analyse |
|--|----------------------------------|
| Vanlig marflo (<i>Gammarus locusta</i>) | Gammaridae (familie) - Amphipoda |
| Vandresnegl (<i>Potamopyrgus antipodarum/jenkinsi</i>) | Mollusca (phylum) |
| Vanlig damsnegl (<i>Lymnaea peregra</i>) | Mollusca (phylum) |
| Tårnformet damsnegl (<i>Lymnaea glabra</i>) | Mollusca (phylum) |
| Knappsnegl (<i>Anisus leucostomus</i>) | Mollusca (phylum) |
| Remsnegl (<i>Bathypomphalus contortus</i>) | Mollusca (phylum) |
| Fjærmygglarve (<i>Chironomus sp.</i>) | Chironomidae (familie) |
| Diverse mygglaver | Insecta (klasse) |
| Toøyet flatigle (<i>Helopdella stagnalis</i>) | Helopdella (slekt) |
| Vannmidd | Trombidiformes (orden) |
| Vannkalv | Dytiscidae (familie) |
| Sandskjell (<i>Mya arenaria</i>) | <i>Ikke analysert</i> |
| Rur (<i>Balanus sp.</i>) | <i>Ikke analysert</i> |

Innsamlingsmetodene ga ikke grunnlag for å gjøre en tallfestet sammenligning av tetthet og mangfold i bunndyrsfauna mellom ulike delområder i fjorden. Det ble imidlertid registrert størst antall grupper av bunndyr inne i vannvegetasjonsområdet, her omtalt som enga, noen færre i randsonen av enga og færrest utenfor (figur 6). Iglar og snegl ble kun funnet inne i enga. Materialet ga et tydelig inntrykk av betydelig større tetthet av individer inne i enga enn utenfor, uavhengig av fangstmetode.



Figur 6. Grupper av bunndyr registrert i prøver samlet inn i vegetasjonsområdet ("enga") i Gunneklevfjorden, i randsonen av enga og utenfor. Antall individer er ikke kvantifisert.

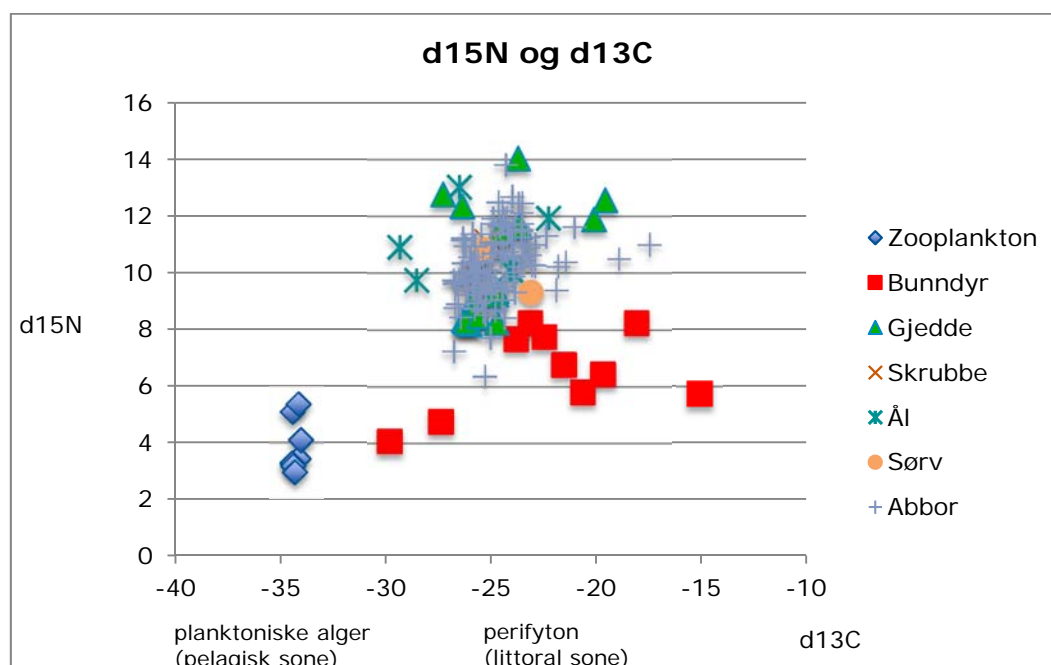
Det ble funnet fem arter av fisk i Gunneklevfjorden (tabell 4). Totalt er det registrert 46 arter av fisk i norske ferskvann (Pethon, 1989), og ni av artene har tilknytning til saltvann enten som anadrome eller katadrome arter. Av de fem artene funnet i Gunneklevfjorden gjelder dette skrubbe og ål. Gjedde er også rapportert fanget ute i Frierfjorden der saltholdigheten er høyere enn i Gunneklevfjorden (Asle Øksnerud, pers.med), men da trolig i tilknytning til utstrømmende brakkevann. Gjedde er kjent å kunne oppholde seg i brakkevann opptil 10 psu. Gjedde er en rovfisk, men de minste gjeddene (under 10 cm) tar mest krepsdyr og insektlarver mens større individer i hovedsak spiser fisk. Skrubbe er en saltvannsfisk men er kjent for å like seg i brakkevann og ikke kjønnsmodne individer går gjerne i ferskvann. Den ligger ofte nedgravet i bunnlaget. Den spiser alle typer bunndyr og i brakkevann eller ferskvann tar den særlig tanglopper og

myggelarver. Ål vandrer inn i brakkvannsområder eller vassdrag som glassål og når den har slått seg til og vokser opp forvandles den til gulål, før den vandrer ut som blankål. De fem individene av ål som ble fanget i Gunneklev var alle gulål. Ålen tar både fisk og forskjellige bunndyr. Abbor er en av de vanligste og mest utbredte ferskvannsfiskene i Norge. Den lever primært av planktonisk føde i sitt første leveår, og går deretter over til insektlarver, krepsdyr og småfisk. Fra den er ca. 15-20 cm lever den vesentlig av annen fisk, inkludert artsfrender (Pethon, 1989). Sørv er en karpefisk som finnes i lavlandet i Oslofjordområdet og vestover til Telemark. Den lever både av planter, snegl og insektlarver.

Tabell 4. Fisk samlet inn i Gunneklevfjorden i 2013 og 2014.

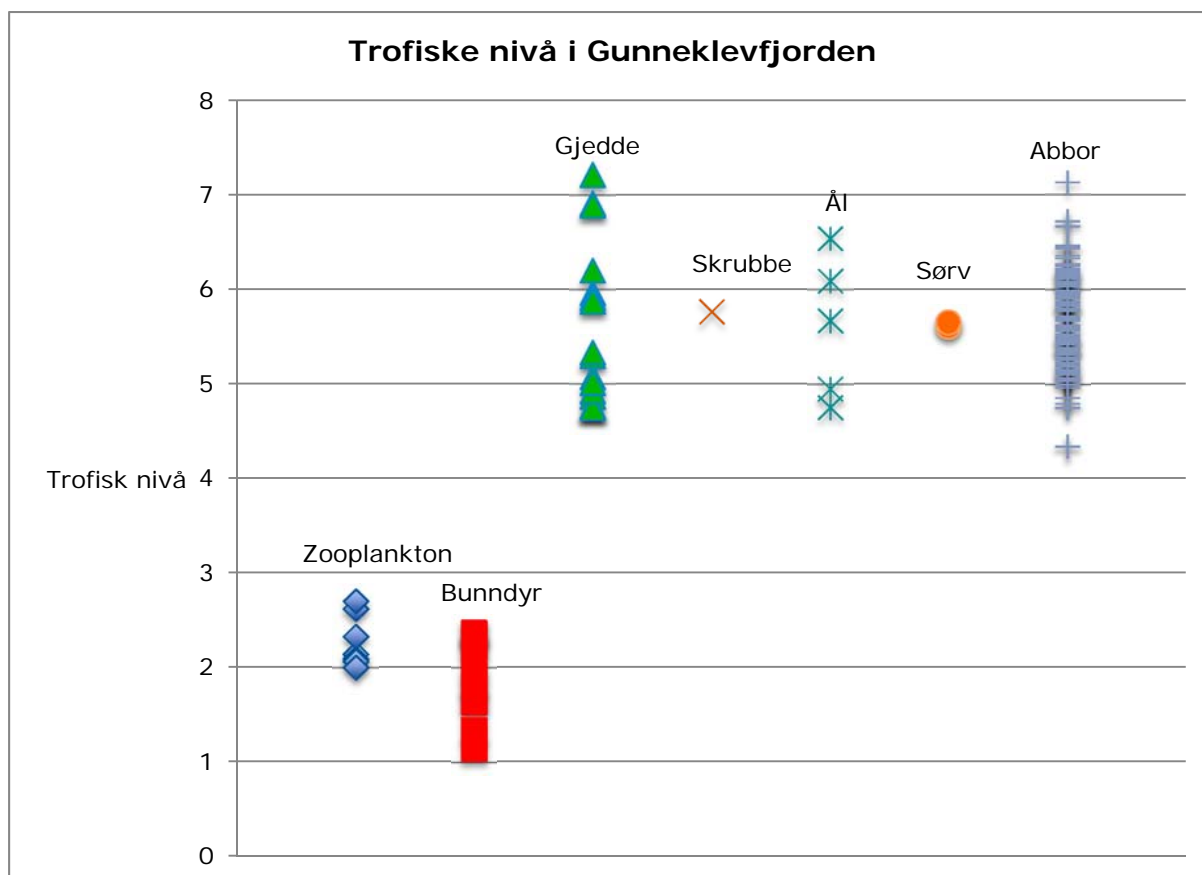
| Art | Antall fangstet | Antall til analyse |
|---|-----------------|--------------------|
| Abbor (<i>Perca fluviatilis</i>) | 523 | 100 |
| Gjedde (<i>Esox lucius</i>) | 17 | 17 |
| Skrubbe (<i>Platichthys flesus</i>) | 1 | 1 |
| Sørv (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>) | 2 | 2 |
| Ål (<i>Anguilla anguilla</i>) | 5 | 5 |

Sammenstilling av verdier for forholdet mellom de stabile isotopene av N og av C ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$) i de undersøkte organismene i Gunneklevfjorden viser et næringsnett som både har et pelagisk og et littoralt startpunkt, og at organismene representerer ulike nivå i næringskjeden (figur 7). $\delta^{15}\text{N}$ beskriver organismenes plass i næringskjeden og viser en tydelig økning fra zooplankton og bunndyr til fisk, som det kan forventes fra primære konsumenter til toppredatorer. $\delta^{13}\text{C}$ gir grunnlag for å skille mellom et littoralt eller et pelagisk startpunkt for næringskjeden. Fisk gir inntrykk av en littoralt basert diett men med pelagiske innslag, mens bunndyr i hovedsak har en tydeligere littoral signatur, men med et par unntak som ligger nærmere en pelagisk signatur. Zooplankton baserer seg som det kan forventes på pelagiske produsenter (fytoplankton).



Figur 7. Plot av $\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ for alle organismer samlet i Gunneklevfjorden i 2013. $\delta^{15}\text{N}$ beskriver organismenes nivå i næringskjeden mens $\delta^{13}\text{C}$ gir grunnlag for å skille mellom en littoral eller pelagisk næringskjede.

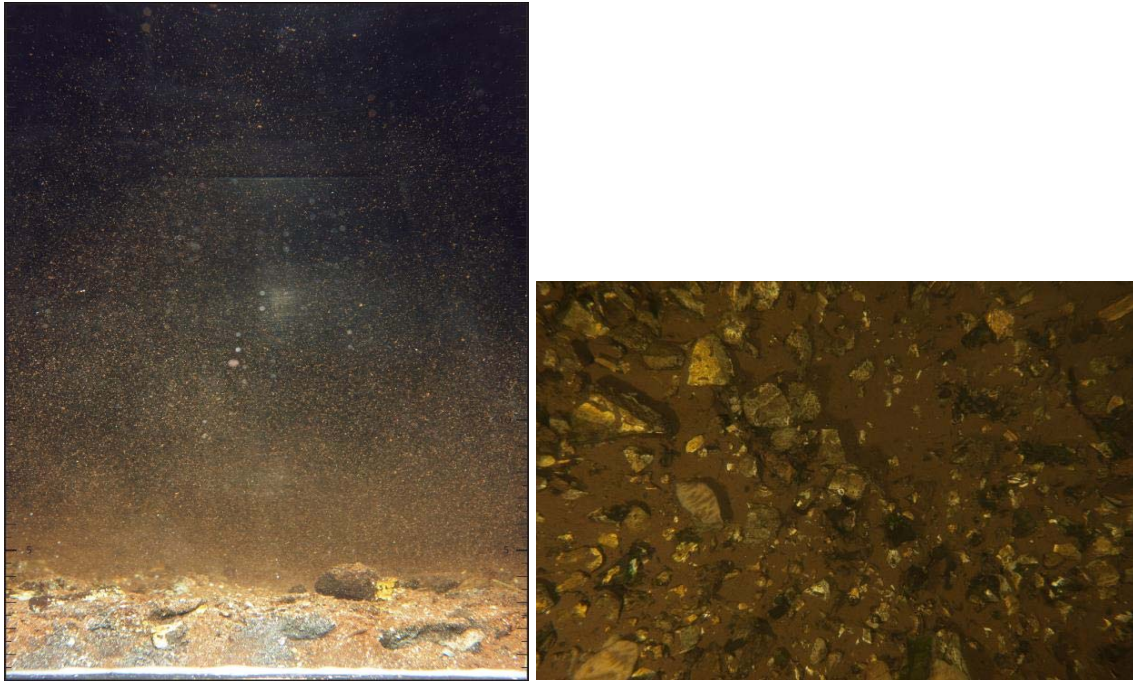
Beregningene av trofisk nivå viste at næringsnett som er kartlagt i Gunneklevfjorden i denne undersøkelsen er relativt enkelt; det dekker 6-7 trofiske nivå (figur 8) og spenner fra de laveste trofiske nivå (primær konsumenter) til toppnivå (toppredatorer). Både zooplankton og bunndyr representerer de laveste trinn, dvs primærkonsumenter, men spenner over flere trofiske nivå som reflekterer at flere arter er rovformer. Artene abbor, gjedde og ål representerer flere nivå i næringsnett, noe som er i samsvar med en diett der de yngste individene ernærer seg på lavere trofiske nivå enn de voksne. Det lave antallet individer av skrubbe og sørv gir ikke grunnlag for å vurdere om også disse artene kan representere flere nivå, men ut fra den vanlige dietten som er beskrevet for disse artene er det ikke forventet at de representerer trofiske nivå høyere enn det som er funnet i denne undersøkelsen (nivå 5-6).



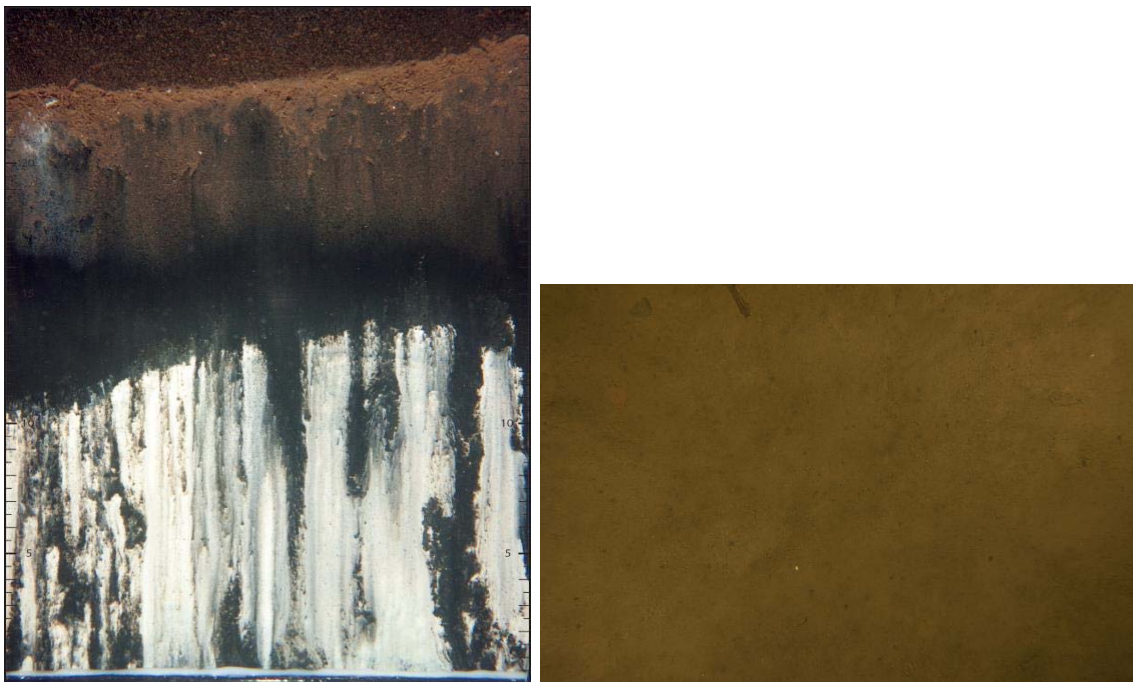
Figur 8. Beregnet trofisk nivå for zooplankton, bunndyr og arter av fisk fra Gunneklevfjorden, basert på analyse av stabile isotoper av C og N i muskelvev fra fisk og i hele organismer av zooplankton og bunndyr.

3.2 SPI-undersøkelser av habitatkvalitet

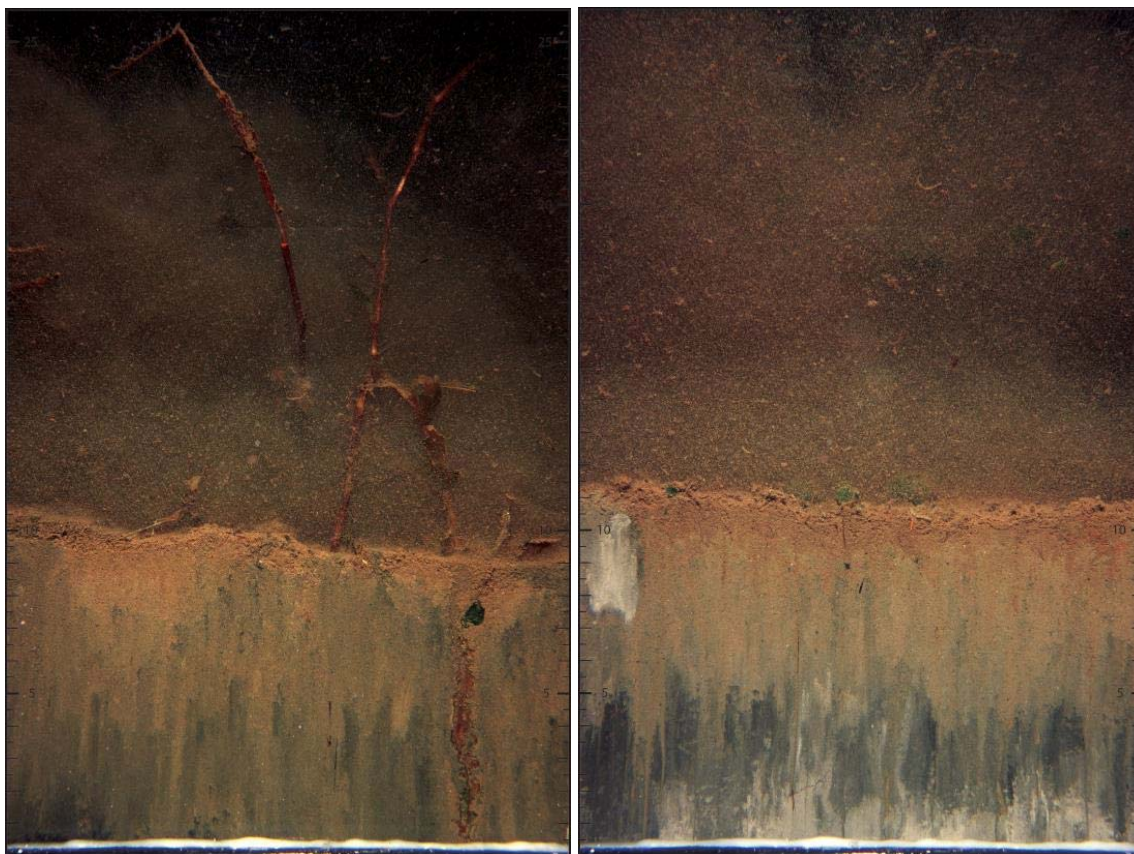
Resultater fra SPI-undersøkelsen er tidligere omtalt i rapport 1 (Olsen, 2014). SPI-bilder fra ulike stasjoner i fjorden er gjengitt i figur 9a-c, og viser henholdsvis harde bunnforhold med innslag av grus og pukk i nord (figur 9a), bløtt sediment i de midtre partiene av fjorden der kamera i hovedsak overpenetrerte sjøbunnen (figur 9b) og bløtbunnsområder med innslag av vegetasjon i sør (figur 9c). Innslag av grus og pukk i nord kan stamme fra motfylling ved etablering av pilotdeponi i 2003, der det ble benyttet slaggmasser fra Eramet.



Figur 9a. Snitt og overflate fra SPI-stasjon 1, nord i Gunneklevfjorden, oktober 2013. Foto: Bjørnar Beylich, NIVA. Fra rapport 1 (Olsen, 2014).



Figur 9b. Snitt og overflate fra SPI-stasjon 7, i midtre områder av Gunneklevfjorden, oktober 2013, der kameraet stedvis overpenetrerte sjøbunnen. På det viste bildet er sjøbunnens overflate synlig. Hvitt sedimentlag med magnesiumslam fremgår tydelig av bildet. Foto: Bjørnar Beylich, NIVA. Fra rapport 1 (Olsen, 2014).



Figur 9c. Snitt fra SPI-stasjon 19 og 20, i søndre del av Gunneklevfjorden, oktober 2013. Vissen undervannsvegetasjon er synlig. Foto: Bjørnar Beylich, NIVA. Fra rapport 1 (Olsen, 2014).

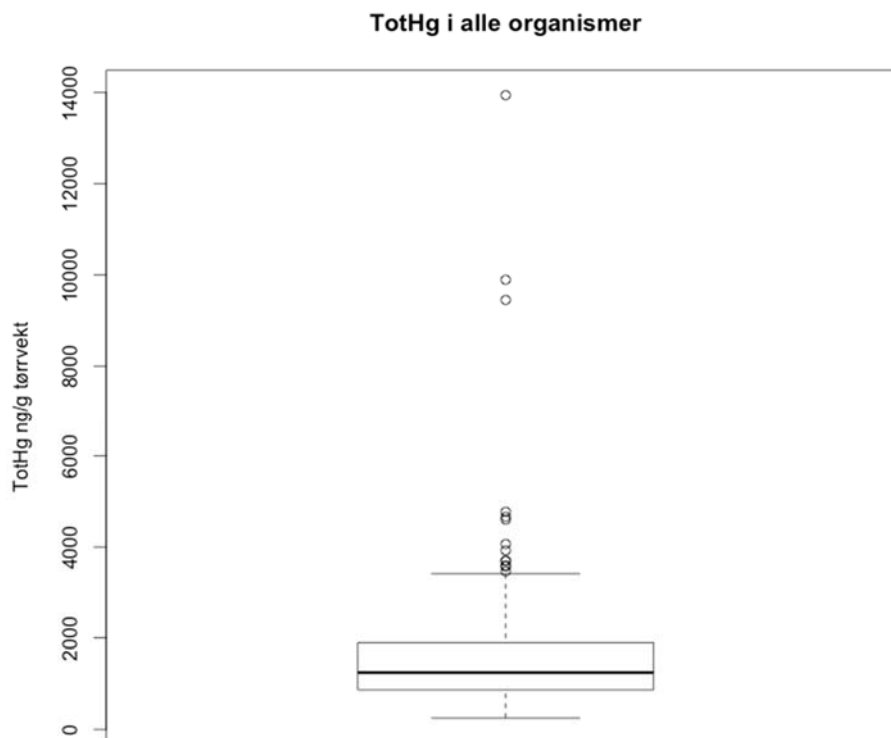
BHQ-indeks ble beregnet ut fra sedimentprofilbildene (tabell 5). For mange av stasjonene ga ikke sedimentprofilen grunnlag for analyse, enten fordi kamera hadde overpenetrert sedimentet eller fordi sedimentstrukturen ikke lot seg sammenligne med kriteriene for indeks-beregning (figur 4). For de stasjonene der en beregning var mulig ble habitatkvaliteten vurdert til å være mindre god.

Tabell 5. Benthic Habitat Quality index (BHQ-indeks) for stasjoner i Gunneklevfjorden undersøkt med SPI i oktober 2013.

| Stasjon | BHQ | Habitatkvalitet |
|----------|------|---|
| G-SPI 0 | | Sedimentprofil ga ikke grunnlag for analyse |
| G-SPI 1 | | Sedimentprofil ga ikke grunnlag for analyse |
| G-SPI 2 | | Sedimentprofil ga ikke grunnlag for analyse |
| G-SPI 3 | | Sedimentprofil ga ikke grunnlag for analyse |
| G-SPI 7 | 4 | Mindre god |
| G-SPI 8 | | Sedimentprofil ga ikke grunnlag for analyse |
| G-SPI 9 | | Sedimentprofil ga ikke grunnlag for analyse |
| G-SPI 13 | | Sedimentprofil ga ikke grunnlag for analyse |
| G-SPI 14 | | Sedimentprofil ga ikke grunnlag for analyse |
| G-SPI 15 | 4,25 | Mindre god |
| G-SPI 16 | 5 | Mindre god |
| G-SPI 17 | 4,75 | Mindre god |
| G-SPI 18 | 4 | Mindre god |
| G-SPI 19 | 4 | Mindre god |
| G-SPI 20 | 4,25 | Mindre god |

3.3 Kvikksølv i organismer

Konsentrasjonene av kvikksølv i alle innsamlede organismer av zooplankton, bunndyr og fisk fra Gunneklevfjorden varierte fra 248 ng/g til nesten 14000 ng/g tørrvekt TotHg (figur 10), og 50% av organismene hadde konsentrasjoner av TotHg mellom 870,6 ng/g og 1892,6 ng/g tørrvekt. Den aller høyeste verdien ble funnet i en blandprøve av fjærmygglarver. Det er usikkerhet i hvilken grad denne verdien er preget av organismenes tarminnhold.



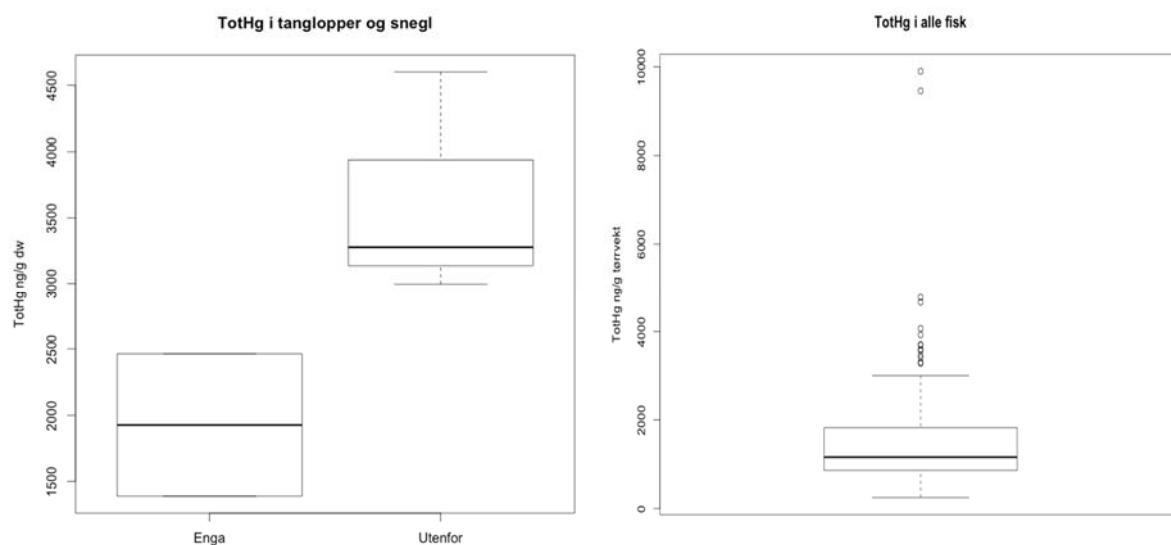
Figur 10. Konsentrasjon av total kvikksølv i alle organismer av zooplankton bunndyr og fisk samlet inn i Gunneklevfjorden i 2013. 50% av materialet befinner seg innenfor boksens avgrensning.

All fisk vurdert samlet hadde konsentrasjoner av TotHg i området 248,7 – 9898,0 ng/g tørrvekt. Omregnet til våtvekt blir dette 0,05 – 2,03 µg TotHg /g, basert på 20,5 % tørrstoff som er gjennomsnittlig tørrstoffinnhold for fisk i dette materialet. Konsentrasjonene av kvikksølv i de fleste individene av fisk er under anbefalte verdier for konsum (0,5 µg/g våtvekt. Unntakene var enkelte individer av abbor, de fleste ål og den ene skrubben som inngikk i materialet. Tidligere studier av kvikksølvkonsentrasjon i fisk i Gunneklevfjorden (Berge og Knutzen, 1989) har vist gjennomsnittskonsentrasjoner av TotHg i området 0,55 – 1,34 µg/g våtvekt, der alle individer var over grenseverdien. Det kan derfor synes som om dagens kvikksølvnivå i fisk fra Gunneklevfjorden er noe lavere enn i den tidligere undersøkelsen. Nylige undersøkelser av kvikksølvkonsentrasjoner i forskjellige ferskvannsfisk, inkludert abbor og gjedde, fra innsjøer i Telemark der hovedkilden antas å være atmosfæriske tilførsler, har vist konsentrasjoner i området 0,04 - 2,50 µg TotHg/g våtvekt (Moreno et al., 2014), med de høyeste konsentrasjonene funnet i en 16 år gammel gjedde fanget i desember. Disse konsentrasjonene er sammenfallende med konsentrasjonene funnet i fisk fra Gunneklevfjorden. Vi skal imidlertid være forsiktige med å sammenligne og overtolke disse dataene med hensyn på betydningen av atmosfæriske tilførsler til Gunneklevfjorden. Det er viktig å relatere kvikksølvnivåene i fisk til art, trofisk

nivå, alder, lengde og tid på året før dataene benyttes til å vurdere tidsutvikling innenfor en lokalitet eller til sammenligning mellom forskjellige lokaliteter. Biotilgjengelighet av kvikksølv kan dessuten variere fra lokalitet til lokalitet og avhenger ikke bare av lokalitetens forurensningsbelastning men også av lokalitetens vannkemi og vannets oppholdstid. Hvis atmosfæriske tilførsler og avrenning fra nedbørsfeltene er viktig kilde til Hg også i Gunneklev, kan det redusere effekten av eventuelle tiltak.

Forskjeller innenfor og utenfor vegetasjonsområdet

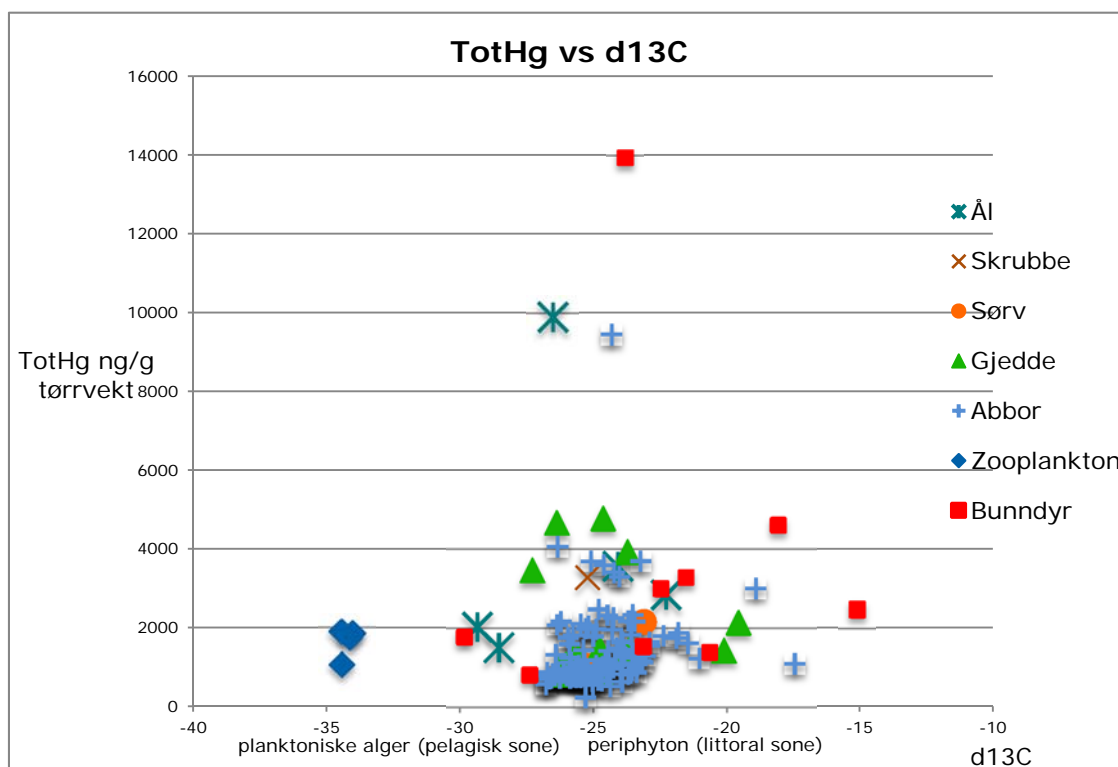
Snegl og tanglopper ble slått sammen til én bunndyrgruppe og det samlede materialet lagt til grunn for en sammenligning av konsentrasjon av TotHg i bunndyr samlet innenfor og utenfor eller i randsonen av enga (figur 11). Det var tydelig forskjell i konsentrasjonen mellom de to gruppene men trolig på grunn av lavt antall prøver (n=5) var ikke de to gruppene signifikant forskjellige (Welch two sample t-test, $p=0,119$). Forskjellen i konsentrasjon mellom de to gruppene later til å gjenspeile konsentrasjonsforskjellene som er funnet i sedimentet i de samme områdene, siden sedimentundersøkelsene generelt har vist lavere forurensningsbelastning av kvikksølv i enga enn i sediment fra mer sentrale områder av fjorden. Sedimentundersøkelsene er rapportert i detalj i rapport 3 fra prosjektet (Eek, 2015). Fisk ble i hovedsak fanget sør i Gunneklevfjorden og i nærheten av enga, og siden fisken har stor grad av mobilitet er det ikke gjort forsøk på å gruppere fisken i geografiske områder. Ved sammenligning av konsentrasjoner av TotHg i bunndyr og i all fisk (figur 11) ser vi at 50% av fiskene har konsentrasjoner av kvikksølv som er sammenfallende med konsentrasjoner i bunndyr som er samlet innenfor enga, mens bunndyr utenfor enga sammenfaller med kvikksølv konsentrasjoner i fisk som statistisk defineres som utliggere. Disse er imidlertid ikke utliggere når vi tar i betraktning fiskens alder, lengde og trofiske nivå (figur 15 og 16), men representerer de eldste og største fiskene. Umiddelbart kan sammenligningen gi inntrykk av at spesielt de minste og yngste fiskene beiter på bunndyr inne i enga og ikke i like stor grad på bunndyr utenfor enga. Biologisk sett er dette en logisk beitestrategi siden enga både gir tilgang på skjulesteder og har større tetthet av byttedyr. Det er derfor ikke urimelig å forvente at fiskenes kvikksølvbelastning i hovedsak styres av hvilke konsentrasjoner som er i byttedyr fra enga og ikke i like stor grad av byttedyr utenfor enga. Det er likevel usikkert om den geografiske forskjellen i byttedyras konsentrasjoner forklarer nivåene av TotHg i fisk, siden andelen MeHg i bunndyr og i fisk på høyere trofisk nivå er svært forskjellig (figur 18).



Figur 11. TotHg ng/g tørrvekt i bunndyr (tanglopper og snegl) innenfor og i randsonen av eller utenfor vegetasjonsområdet i Gunneklevfjorden, og i alle fisk. Boksene viser gjennomsnitt samt 25- og 75-percentilen. Stiplet linje angir spredning x 1,5. Merk at figurene ikke har samme målestokk.

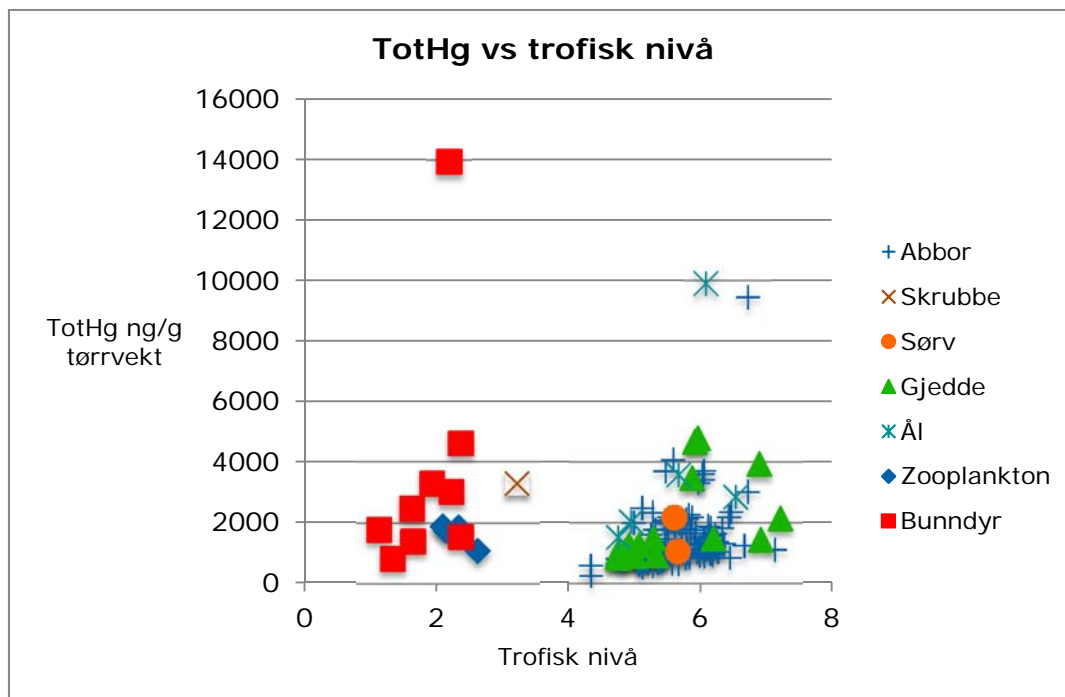
3.3.1 Oppkonsentrering av kvikksølv i næringskjeden

Konsentrasjonene av kvikksølv i alle organismer sett opp mot deres konsentrasjon av den stabile isotopen $\delta^{13}\text{C}$ viser at zooplankton som lever i de frie vannmasser har relativt lave TotHg konsentrasjoner og de laveste $\delta^{13}\text{C}$ verdiene (figur 12). Øvrige og mer littoralt baserte arter av bunndyr og fisk når betydelig høyere konsentrasjoner av TotHg og har mindre negative $\delta^{13}\text{C}$. Blant fiskeartene er det i hovedsak ål, abbor og gjedde som oppnår de høyeste konsentrasjonene av TotHg men det er også individer av fisk som har like lave og lavere konsentrasjoner av TotHg enn både zooplankton og bunndyr. Den svært høye konsentrasjonen av TotHg i én blandprøve av fjærmygg (14 000 ng/g tørrvekt) skiller seg betydelig fra de øvrige prøvene av bunndyr, og det gir grunnlag for usikkerhet om denne verdien representerer faktisk forurensningsnivå eller om tarmmaterialet har hatt betydning.



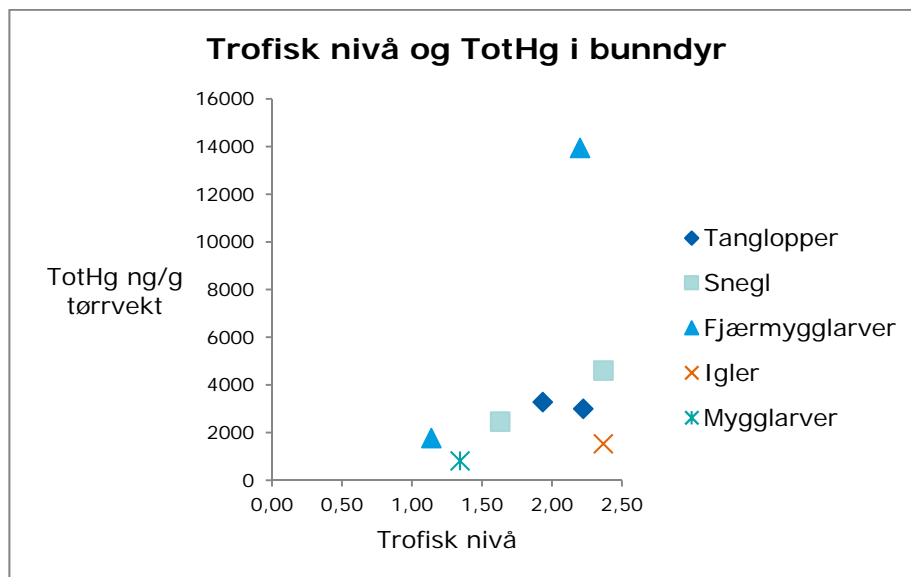
Figur 12. TotHg ng/g tørrvekt og $\delta^{13}\text{C}$ i organismer fra Gunneklevfjorden. Mer negative $\delta^{13}\text{C}$ antyder pelagisk startpunkt i næringskjeden, mens mindre negativ $\delta^{13}\text{C}$ antyder littoralt startpunkt.

Det er vist en generell tendens til økning i konsentrasjonene av TotHg med høyere trofisk nivå både for bunndyr og for fisk (figur 13), noe som antyder biomagnifisering i næringsnett. Det kan se ut til at vi har biomagnifisering både i en rent bentisk næringskjede og i en næringskjede som går fra zooplankton og bunndyr til fisk.



Figur 13. TotHg ng/g tørrvekt i organismer fra Gunneklevfjorden sammenlignet med deres trofiske nivå basert på analyse av stabile isotoper av C og N.

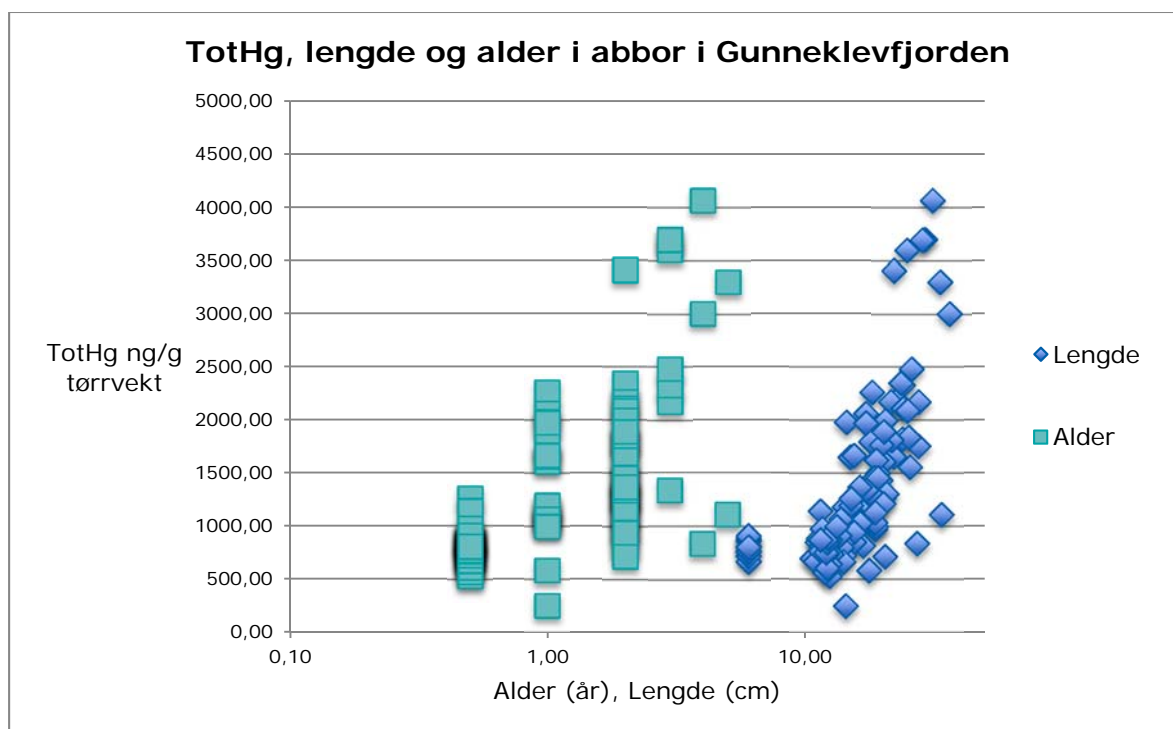
En mer detaljert studie av de forskjellige gruppene av bunndyr (figur 14) tydeliggjør den ene ekstreme verdien i en blandprøve av fjærmygglarver (Chironomidae). Statistisk behandles denne verdien som en utligger (outlier). Uten denne verdien er korrelasjonskoeffisienten $r=0,6$ ($p=0,115$) mellom trofisk nivå for de resterende blandprøvene av bunndyr og TotHg, som betyr at trofisk nivå i dette materialet forklarer 36% av variasjonen i TotHg i bunndyr. Det er imidlertid ingen tydelig trofisk rekkefølge for gruppene av bunndyr.



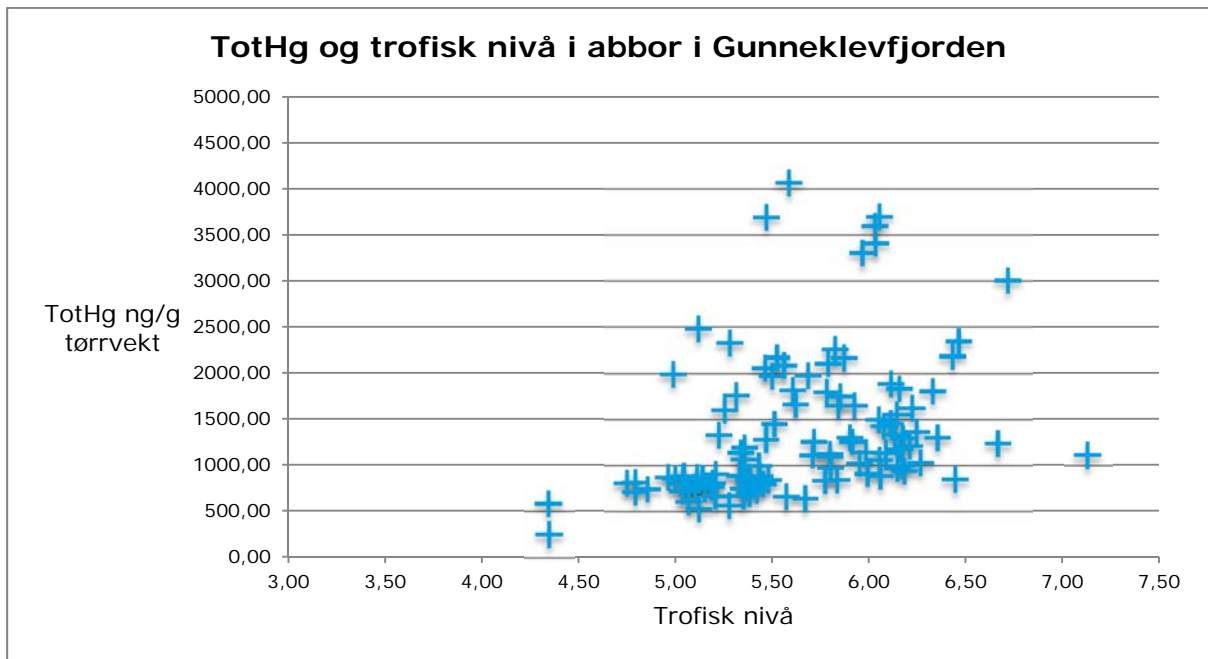
Figur 14. Trofisk nivå og konsentrasjon av TotHg i ng/g tørrvekt i grupper av bunndyr fra Gunneklevfjorden.

3.3.2 Bioakkumulering og biomagnifisering i abbor

Det er vist at konsentrasjonen av TotHg i fisk indikerer en generell oppkonsentrering av kvikksølv med økende trofisk nivå i næringsnettet (figur 13). Antallet abbor fanget i Gunneklevfjorden var stort nok ($n=111$) til å dekke mange årsklasser av samme art og det gir et godt grunnlag for en statistisk analyse av om kvikksølv oppkonsentreres i organismen over tid (bioakkumulering). Vi har sammenlignet TotHg med alder og lengde av fisken (figur 15). Resultatene viser en sterk signifikant korrelasjon mellom TotHg og alder ($r=0,769$, $p<2,2e-16$) og mellom TotHg og lengde ($r=0,734$, $p<2,2e-16$). Siden abbor spanner over flere trofiske nivå som følge av skifte i diett fra ung til voksen fisk, er dataene også egnet for en statistisk vurdering av oppkonsentrering i næringsnettet (biomagnifisering). Resultatene viser en signifikant korrelasjon ($r=0,393$, $p=1,913e-05$) mellom TotHg og trofisk nivå (figur 16). Dette tydeliggjør viktigheten av å ta i betraktning fiskens trofiske nivå, alder og/eller lengde ved sammenligning av forurensningsnivå i fisk, selv av samme art.



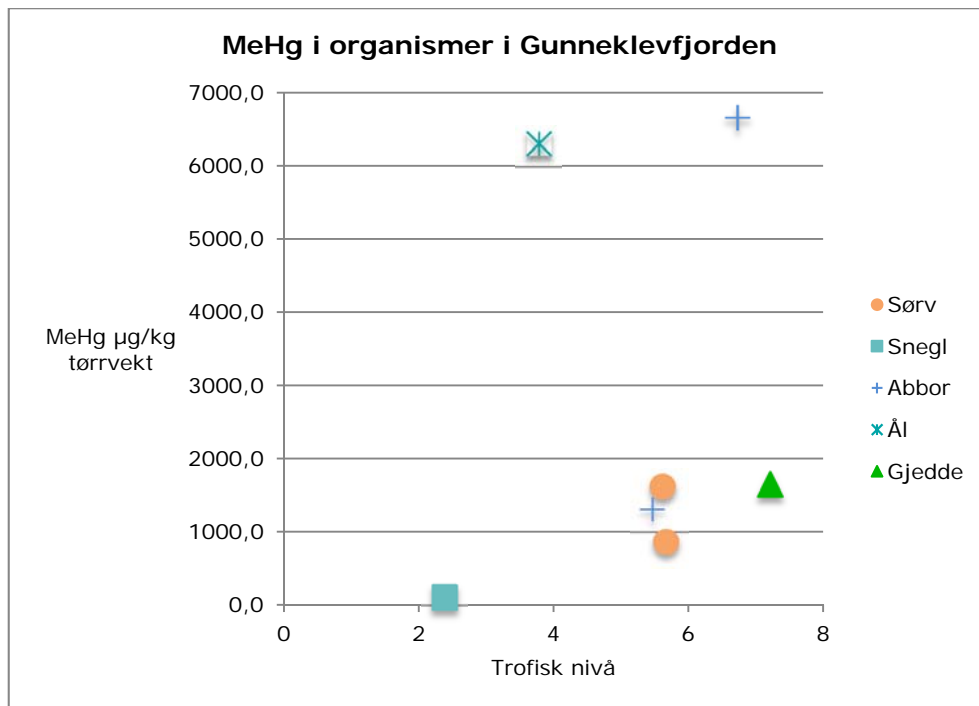
Figur 15. TotHg ng/g tørrvekt i muskelvev fra abbor (*Perca fluviatilis*) i Gunneklevfjorden, relatert til fiskenes alder og lengde. Korrelasjonen er signifikant for både alder ($r=0,769$, $p<2,2e-16$) og lengde ($r=0,734$, $p<2,2e-16$).



Figur 16. TotHg (ng/g tørrvekt) i muskelvev fra abbor (*Percu fluviatilis*) i Gunneklevfjorden, relatert til fiskenes trofiske nivå. Korrelasjonen er signifikant ($r=0,393$, $p=1,913e-05$).

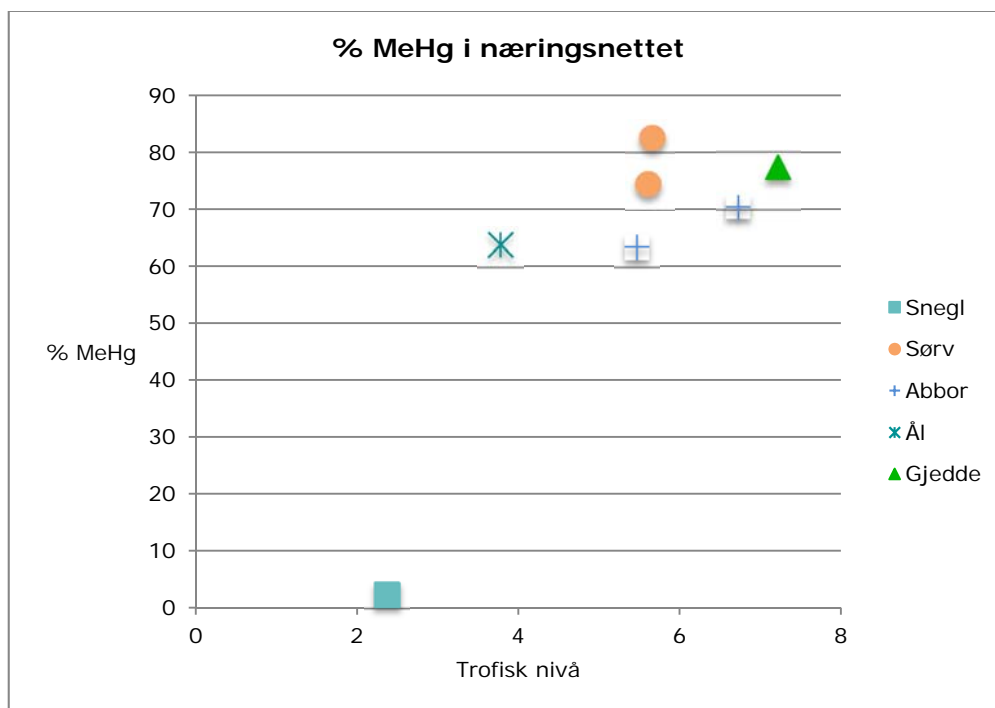
3.3.3 Metylkvikksølv i organismer

MeHg er analysert i et begrenset utvalg av organismer som dekker spennet av trofiske nivå i det innsamlede materialet. MeHg øker tilsynelatende med trofisk nivå og de høyeste konsentrasjonene av MeHg er funnet i individer av predatorene ål og abbor (figur 17). Med alle prøvene inkludert er korrelasjonen mellom MeHg og trofisk nivå relativt svak ($r=0,166$, $p=0,721$) men når de to høyeste verdiene fjernes (ål og én abbor) er korrelasjonen betydelig sterkere ($r=0,898$, $p=0,038$).



Figur 17. MeHg ($\mu\text{g}/\text{kg}$ tørrvekt) i utvalgte organismer fra næringsnettet i Gunneklevfjorden.

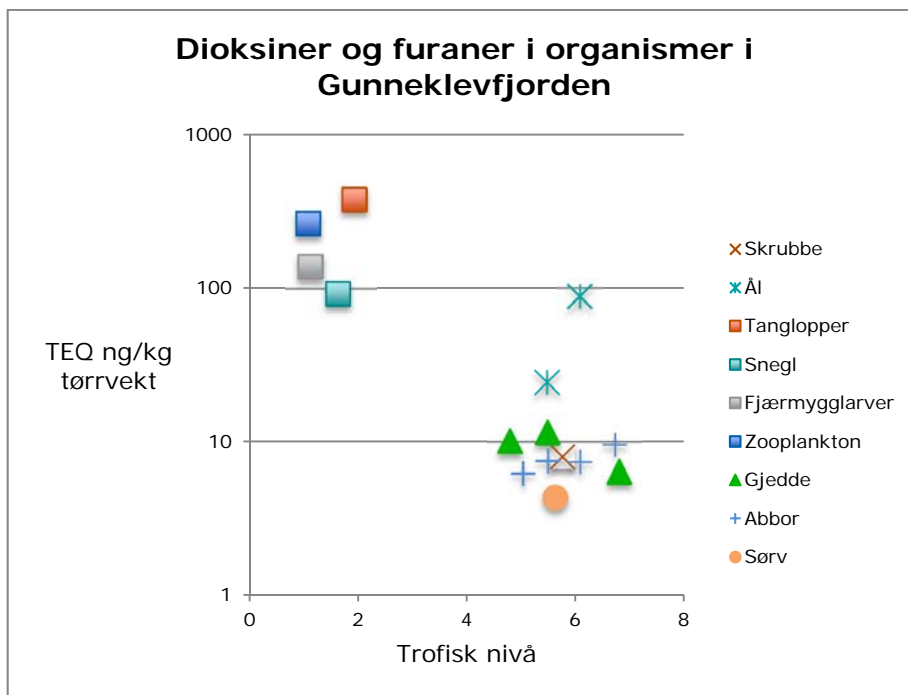
Forholdet mellom TotHg og MeHg, beskrevet som % MeHg, øker typisk med høyere trofisk nivå (figur 18). I det innsamlede materialet av fisk er andelen MeHg i området 60-85 %, mens den er bare 2,2 % i snegl, som er den eneste gruppen av bunndyr der det er målt MeHg. Det er en sterk korrelasjon mellom trofisk nivå og % MeHg ($r=0,821$, $p=0,023$). Forskjellen i % MeHg med trofisk nivå kan forklare hvorfor bunndyr kan ha høye verdier av TotHg (men lav % MeHg) mens fisk som predatorer disse kan ha til dels lavere TotHg (men høy % MeHg) (figur 13).



Figur 18. Andel MeHg av TotHg presentert som % MeHg i utvalgte organismer fra næringsnettet i Gunneklevfjorden.

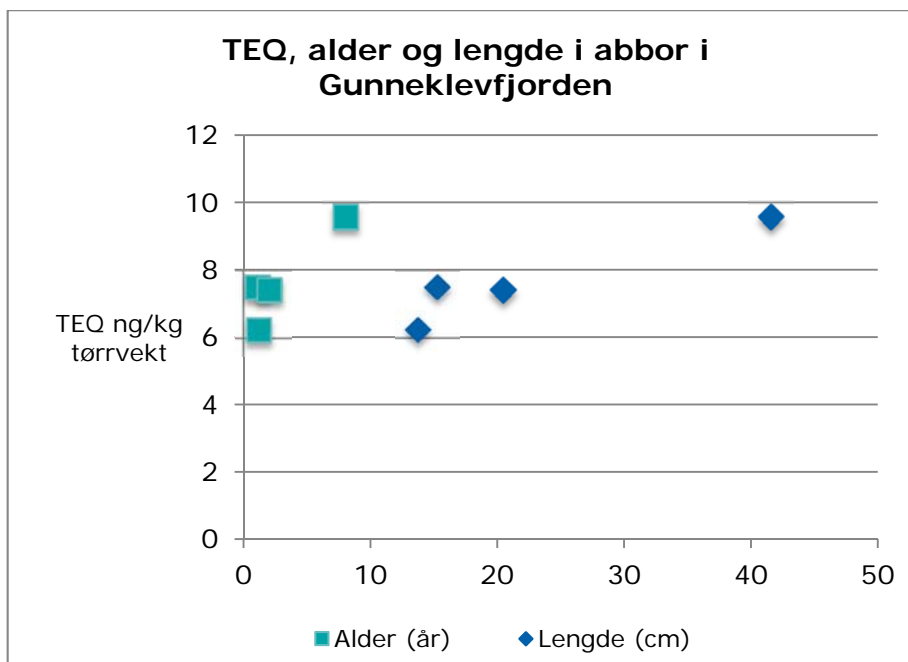
3.3.4 Klorerte forbindelser i organismer

Dioksiner og furaner er målt i blandprøver av organismer fra Gunneklevfjorden (figur 19). For ål, gjedde og abbor er det satt sammen blandprøver basert på lengdegrupper av fisk, og gjennomsnittlig alder, lengde og trofisk nivå for blandprøvene er benyttet i statistikk og grafiske fremstillinger. Dioksiner og furaner er oppgitt som TEQ (WHO 2005). Det innsamlede materialet har TEQ i området 4,3 – 374 ng/kg tørrvekt. De høyeste TEQ-verdiene er funnet på de laveste trofiske nivåene i næringsnettet; i bunndyr og i zooplankton. En mulig feilkilde i dette materialet er knyttet til forurenset tarminnhold hos partikkelspisende organismer, siden dyrene ble analysert uten å rense tarm først. Fisk har konsentrasjoner i området 4,3 – 88,4 TEQ ng/kg tørrvekt, med de høyeste nivåene funnet i ål. Dette tilsvarer TEQ i området 0,86 – 17,68 ng/kg våtvekt, basert på 20,5 % tørrvekt. EUs grenseverdi for TEQ i fisk og fiskerivarer er satt til 4 ng/kg våtvekt, og bortsett fra ål er all fisk i vårt materiale under denne grenseverdien. I tidligere undersøkelser av fisk fra Gunneklevfjorden er det ikke analysert for dioksiner og furaner, så en sammenligning over tid er ikke mulig. Det er en tendens til økning i TEQ-verdier med trofisk nivå for fisk, og dette er spesielt tydelig innenfor arten abbor der datagrunnlaget er best.



Figur 19. Dioksiner og furaner oppgitt som ng TEQ/kg tørrvekt i grupper av organismer fra Gunneklevfjorden, sammenlignet med trofisk nivå basert på analyse av stabile isotoper av C og N.

TEQ-verdier i blandprøver av abbor sammenlignet med gjennomsnittlig lengde, alder og trofisk nivå (figur 19 og figur 20), viser en tydelig tendens til oppkonsentrering som indikerer både bioakkumulering (økning med alder og lengde) og biomagnifisering (økning med trofisk nivå). Det er positiv korrelasjon mellom TEQ og trofisk nivå ($r=0,929$, $p=0,07099$), mellom TEQ og alder ($r=0,922$, $p=0,07786$) og mellom TEQ og lengde ($r=0,945$, $p=0,0547$).



Figur 20. Dioksiner og furaner oppgitt som TEQ (ng/kg tørrvekt) i abbor fra Gunneklevfjorden, sammenlignet med alder og lengde.

Konsentrasjonene av de klorerte forbindelsene HCB og OCS er målt i de samme blandprøvene som dioksiner og furaner. Konsentrasjonene ligger i området 10,6 – 606 ng/g og 5,5 – 372 ng/g tørrvekt for henholdsvis HCB og OCS. Konsentrasjonene følger hverandre i de undersøkte organismene, bortsett fra for blandprøven av fjærmygglarver der HCB er funnet i svært høye konsentrasjoner (figur 21). Det er usikkerhet om betydningen av tarminnhold for verdiene som er målt i denne prøven, men hvorfor dette i så fall ikke gir seg utslag på OCS er vanskelig å forstå. HCB og OCS i fisk er målt henholdsvis i området 10,6 - 362 ng/g tørrvekt og 5,5- 372 ng/g tørrvekt. Dette tilsvarer 2,2 – 74,2 ng/g og 1,1 – 76,3 ng/g våtvekt for henholdsvis HCB og OCS, basert på 20,5 % tørrvekt. De høyeste verdiene er funnet i ål. Tidligere undersøkelser av ål i Gunneklevfjorden har vist konsentrasjoner av henholdsvis HCB og OCS på 21000 og 19000 ng/g våtvekt, og for annen villfisk henholdsvis 700 – 900 ng/g og 1200 – 5200 ng/g for HCB og OCS. (Berge and Knutzen, 1989). Materialet gir grunnlag for å anta en betydelig nedgang over tid i konsentrasjon av de klorerte forbindelsene HCB og OCS i fisk.

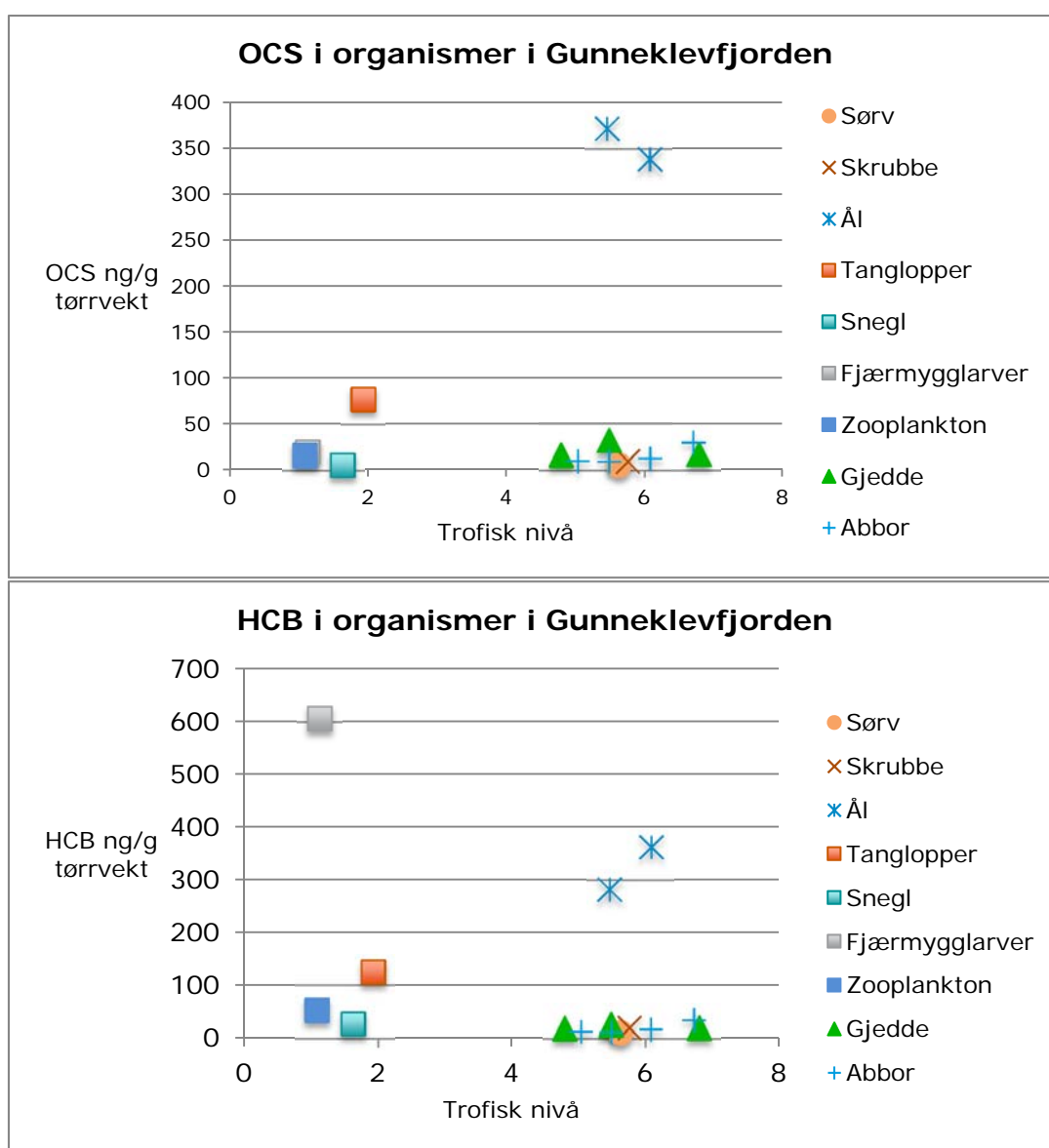


Fig 21. Konsentrasjon av OCS (ng/g tørrvekt) og HCB (ng/g tørrvekt) i blandprøver av organismer fra Gunneklevfjorden sammenlignet med gjennomsnitt av organismenes trofiske nivå basert på analyse av stabile isotoper av C og N.

4. Oppsummering

Dyrelivet i Gunneklevfjorden er preget av lav saltholdighet og det er funnet typiske ferskvanns- og brakkvannsarter både blant zooplankton, bunndyr og fisk.

Artsantallet i fjorden er generelt relativt lavt, både av bunndyr og av fisk. Bunndyrsamfunnet er dominert av små og lite bioturbierende organismer, og det finnes spesielt mye fjærmygglarver (*Chironomidae*). Det er registrert 5 fiskearter, med abbor som den dominerende i fangstene.

Materialet gir ikke grunnlag til å skille næringsnett knyttet til ulike områder av fjorden, men innsamlingen gir et tydelig inntrykk av større mangfold og individtetthet i tilknytning til vegetasjonsområdet.

Næringsnettet i fjorden er basert både på et pelagisk og et littoralt startpunkt, og fisk generelt later til å basere seg på en kombinasjonsdiett. Det er et relativt enkelt næringsnett, som spenner over 6-7 trofiske nivå. Toppredatorene er i hovedsak abbor, gjedde og ål. Undersøkelsen har ikke omfattet fugl, men det er relevant å inkludere disse som toppredatorer i næringsnettet.

Habitatkvaliteten i sedimentet er vurdert til å være mindre god, og for mange av de undersøkte stasjonene var det ikke mulig å gjøre en analyse av habitatkvalitet basert på sedimentprofilfotografering (SPI). Dette skyldes i hovedsak at sedimentene var så bløte at sedimentprofilkameraet overpenetrerte sjøbunnen.

Konsentrasjonene av kvikksølv i bunndyr antyder sammenheng med sedimentkonsentrasjon og er til dels svært høye. Konsentrasjoner målt i bunndyr må imidlertid tolkes med forsiktighet fordi det er usikkerhet om betydningen av organismenes tarminnhold, som kan inneholde sedimentpartikler. Sammenligning av konsentrasjoner av kvikksølv i bunndyr og i fisk kan indikere at spesielt ung fisk i hovedsak beiter innenfor vegetasjonsområdet og ikke utenfor. Konsentrasjonene av kvikksølv i fisk er under anbefalte verdier for konsum (0,5 µg/g våtvekt) for de fleste individene i materialet, bortsett fra enkelte abbor, de fleste ål og den ene skrubben som inngikk i materialet. Nivåene av kvikksølv i det innsamlede materialet er noe lavere enn i tidligere undersøkelser men i samme størrelsesorden som nylige undersøkelser av ferskvannsfisk fra innsjøer i Telemark. Sammenligning med tidligere undersøkelser eller undersøkelser fra innsjøer må imidlertid gjøres med forsiktighet, og det er viktig å legge til grunn fiskens art, trofiske nivå, alder, lengde og tid på året for fangst. I tillegg vil vannkjemi kunne påvirke tilgjengeligheten av kvikksølv og dermed opptaket av kvikksølv i fisk. For Gunneklevfjorden bør det fastsettes en bakgrunnsverdi av kvikksølv i fisk for å kunne vurdere hvilke fremtidige konsentrasjoner av kvikksølv som er realistiske å kunne oppnå med og uten tiltak mot forurenset sjøbunn.

Verdiene for dioksiner og furaner er under EUs grense for fisk og fiskerivarer for alle fiskearter (4 ng TE/kg våtvekt) bortsett fra ål. Det er ikke analysert for dioksiner og furaner i fisk tidligere. Konsentrasjonene av HCB og OCS i fisk er betydelig lavere enn ved tidligere undersøkelser.

Det er vist bioakkumulering og biomagnifisering i næringsnettet for både kvikksølv og klorerte forbindelser.

5. Referanser

- BERGE, J. A. & KNUTZEN, J. 1989. Miljøgifter i Gunnekleivfjorden. Delrapport 3. Opptak av miljøgifter i fisk. NIVA.
- CABANA, G. & RASMUSSEN, J. B. 1996. Comparison of aquatic food chains using nitrogen isotopes. *Proceeding of the National Academy of Sciences USA*, 93, 10844-10847.
- CHRISTIE, H., RINDE, E., MOY, F. & BEKKBY, T. 2014. Hva bestemmer egenskaper og økologisk funksjon i ålegrasenger? NIVA-rapport.
- EEK, E. 2015. Delrapport fra aktivitet 3, Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensede sedimenter i Gunnekleivfjorden. NGI-rapport i arbeid.
- FRANCE, R. L. 1995. Differentiation between littoral and pelagic food webs in lakes using stable carbon isotopes. *Limnology and Oceanography*, 40, 1310-1313.
- KRAUFVELIN, P., CHRISTIE, H. & OLSEN, M. 2002. Littoral macrofauna (secondary) responses to experimental nutrient addition to rocky shore mesocosms and a coastal lagoon. *Hydrobiologia*, 484, 149-166.
- KÅLÅS, J. A., VIKEN, Å., HENRIKSEN, S. & SKJESETH, S. 2010. *Norsk rødliste for arter 2010*, Artsdatabanken, Norge.
- MJELDE, M. 2015. Vannvegetasjon i brakkvann, med spesiell vekt på Gunnekleivfjorden i Telemark. Delrapport fra aktivitet 2a, Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensede sedimenter i Gunnekleivfjorden. NIVA-rapport.
- MORENO, C. E., FJELD, E., DESHAR, M. K. & LYDERSEN, E. 2014. Seasonal variation of mercury and $\delta^{15}\text{N}$ in fish from Lake Heddalsvatn, southern Norway. *Journal of Limnology*, Accepted article. 10.4081/jlimnol.2014.918.
- NERLAND, Ø., SPARREVIK, M., KIBSGAARD, A., OKKENHAUG, G., MOLVÆR, J., WALDAY, M., BÆKKEN, T., SCHØYEN, M., WALSTAD, E. & ENGDAHL, B. 2007. Herøya Industripark, Konsekvensutredning - Utfylling i Gunnekleivfjorden. Deltema Utfylling i sjø. Deltema Helse, miljø og sikkerhet.: NGI.
- NILSSON, H. C. & ROSENBERG, R. 1997. Benthic habitat quality assessment of an oxygen stressed fjord by surface and sediment profile images. *Journal of Marine Systems*, 11, 249-264.
- NILSSON, H. C. & ROSENBERG, R. 2006. Collection and interpretation of Sediment Profile Images (SPI) using the Benthic Habitat Quality (BHQ) index and successional models. *NIVA Report No. 5200-2006*.
- OLSEN, M. 2014. Naturtyper i Gunnekleivfjorden. Delrapport fra aktivitet 1, Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensede sedimenter i Gunnekleivfjorden. NIVA-rapport.
- PEARSON, T. H. & ROSENBERG, R. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr Mar Biol Ann Rev* 16, 229-311.
- PETHON, P. 1989. *Ascheougs store Fiskebok*, H. Ascheoug & Co A/S.
- POST, D. M. 2002. Using Stable Isotopes to Estimate Trophic Position: Models, Methods, and Assumptions. *Ecology*, 83, 703-718.
- ROSENBERG, R., BLOMQUIST, M., NILSSON, H., CEDERWALL, H. & DIMMING, A. 2004. Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distributions: a proposed new protocol within the European Union Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 49, 728-739.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no