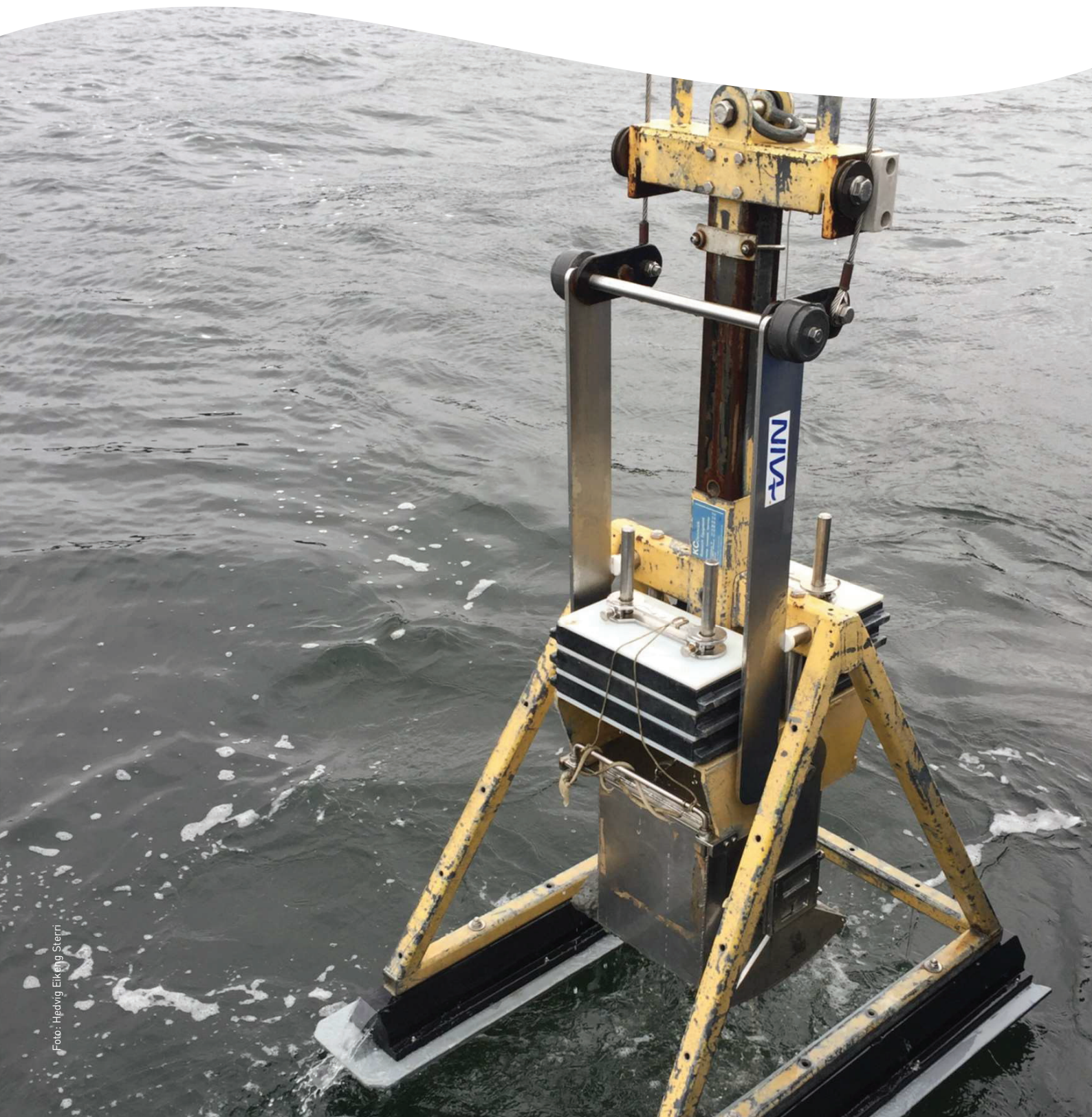


Mesokosmos-forsøk med avgang fra Titania-effekt på bløtbunnsfauna



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

NIVA Danmark

Njalsgade 76, 4. sal
2300 København S, Danmark
Telefon (45) 39 17 97 33

Tittel Mesokosmos-forsøk med avgang fra Titania - effekt på bløtbunnsfauna	Løpenummer 7223-2017	Dato 20.12.2017
Forfatter(e) Hilde C. Trannum Morten T. Schaanning	Fagområde Marin biologi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Norge	Sider 18

Oppdragsgiver(e) Titania A/S	Oppdragsreferanse Ann Heidi Nilsen
	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 14371-9

Sammendrag

Det er utført et mesokosmos-forsøk med gruveavgang fra Titania A/S, og den foreliggende rapporten har til hensikt å vurdere effekter på bløtbunnsfaunaen. Tilsetning av 2 cm avgangsmasser ga en betydelig reduksjon i tettheten til bløtbunnsfaunaen sammenlignet med kontrollsedimenter uten tilsatt materiale. Også antall arter ble redusert. I boksene med Titania-avgang var det høye konsentrasjoner av metallene kobber og nikkel, tilsvarende klasse III-V, som tilsier risiko for toksisk effekt. Andre årsaker til effektene på bunnfauna kan være at næringsgrunnlaget var redusert, vist ved lavere innhold av nitrogen og organisk karbon i sedimentet, og det er også mulig at partiklene skadet faunaen ved at de pga. knusingen i produksjonsprosessen antakelig er mer skarpkantet enn ordinært sediment. Forsøksoppsettet representerer et svært realistisk oppsett, men resultatene som er fremkommet, må tolkes som et worst case scenario fordi det er lite re-etablering av organismer i mesokosmoset.

Fire emneord	Four keywords
1. Gruveavgang	1. Mine tailings
2. Mesokosmos-forsøk	2. Mesocosm-experiment
3. Bløtbunnsfunnsamfunn	3. Soft bottom communities
4. Metaller	4. Metals

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

Prosjektleder

Hilde Cecilie Trannum

Forskningsleder

Marianne Olsen

ISBN 978-82-577-6958-1
NIVA-rapport ISSN 1894-7948

**Mesokosmos-forsøk med avgang fra Titania
- effekt på bløtbunnsfauna**

Forord

I forbindelse med forsøk utført med gruveavgang fra Titania A/S innenfor prosjektet NYKOS (Ny kunnskap om sjødeponering), fikk NIVA midler av Titania til å opparbeide og vurdere effekter på bløtbunnsfauna. Resultatene skulle oversendes i en kortfattet rapport, med beregning av indekser for faunaen, multivariat statistikk samt presentasjon og tolkning av funnene. Vi har også lagt inn analyse av metaller og klassifisering av disse.

Hilde C. Trannum har vært ansvarlig for oppdraget, og har sammen med Morten T. Schaanning skrevet rapporten. Forsøket ble utført med assistanse fra daværende studenter nå MSc Linda Fauske og MSc Hedvig Eikeng Sterri. Rita Næss har sortert og identifisert bløtbunnsfaunaen. Sikting av prøver ble utført av Rita Næss og Tage Bratrud.

Vi takker mannskapet på F/F Trygve Braarud for kyndig assistanse under feltinnsamling, og personellet på Solbergstrand for målinger og kontroll av forsøket underveis.

Titania A/S ved Ann Heidi Nilsen takkes for oppdraget og for godt samarbeid.

Grimstad, 19.12.17

Hilde C. Trannum

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn og formål	7
2	Materiale og metode	7
2.1	Feltinnsamling, gjennomføring og avslutning.....	7
2.2	Laboratorie- og data-analyser og klassifisering	8
3	Resultater og diskusjon.....	10
3.1	Sedimentparametere.....	10
3.2	Faunaparametere	11
4	Konklusjon	16
5	Referanser.....	17
6	Vedlegg.....	18

Sammendrag

Det er utført et mesokosmos-forsøk med gruveavgang fra Titania A/S. Forsøket har vært en del av prosjektet NYKOS (Ny kunnskap om sjødeponering), hvor NIVA mottok ekstra midler av Titania for å opparbeide og vurdere effekter på bløtbunnsfauna.

Tilsetning av 2 cm avgangsmasser fra Titania ga en betydelig reduksjon i tettheten til bløtbunnsfaunaen, og ved forsøkets slutt hadde Titania-boksene <25% av antall individ sammenliknet med kontrollsedimenter uten tilsatt materiale. Også antall arter ble redusert. Tidligere forsøk med tilsetning av tilsvarende mengder naturlige mineralske masser (sand og leirsedimenter) har ikke gitt vesentlig effekt på bunnfaunaen, hvilket indikerer at det er andre faktorer enn nedslammingen i seg selv som er ansvarlig for effektene. I Titania-behandlingen var det høye konsentrasjoner av metallene kobber og nikkel, tilsvarende klasse III-V (Miljødirektoratets veileder M-608), som tilsier risiko for toksisk effekt. Videre ble næringsgrunnlaget til faunaen redusert, vist ved lavere innhold av nitrogen og organisk karbon i sedimentet. Sist er det mulig at partiklene fysisk skadet faunaen ved at de pga. knusingen i produksjonsprosessen antakelig er mer skarpkantet enn ordinære sedimentpartikler.

Forsøksoppsettet er svært realistisk ved at man kan utføre kontrollert testing på intakte bunnsamfunn i sitt naturlige miljø. Samtidig er det viktig å være klar over at i motsetning til en feltsituasjon, finner det i mesokosmos ikke sted rekruttering av mer tolerante arter. Dermed blir bare dødelighet målt. Videre er det begrenset vannutskiftning sammenliknet med feltsituasjonen. Effektene blir derfor intensivert, og resultatene som er fremkommet i det foreliggende eksperiment, anses å representere et worst case scenario.

Summary

Title: Mesocosm-experiment with mine tailings from Titania – effects on soft bottom communities

Year: 2017

Authors: Hilde C. Trannum og Morten T. Shcaanning

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-6958-1

A mesocosm-experiment has been conducted with mine tailings from Titania A / S. The experiment has been part of the NYKOS project (New Knowledge of Sea Discharge), where NIVA received additional funds from Titania to process soft-bottom fauna and evaluate the effects.

Addition of 2 cm tailings from Titania resulted in a significant reduction in the density of soft bottom fauna, and at the end of the experiment, the Titania boxes had <25% of the number of individuals compared to control sediments without added material. Also number of species was reduced. Previous experiments with addition of similar amounts of natural sediment material (sand and clay) have not had a significant effect on the soft bottom fauna, indicating that other factors than the hypersedimentation are responsible for the effects. In the Titania treatment, there were high concentrations the metals copper and nickel, corresponding to Class III-V (Norwegian Environment Agency report M-608), which indicates a risk of toxic effect. Furthermore, the nutrient value for the fauna was reduced, as shown by lower nitrogen and organic carbon content in the sediment. Lastly, it is possible that the particles physically harm the fauna as the crushing in the production process makes them more angular than ordinary sediment particles.

The experimental setup is highly realistic as it enables controlled testing on intact bottom communities in its natural environment. At the same time, it is important to be aware that in contrary to a field situation, there is no recruitment of more tolerant species in the mesocosm. Thus, only mortality is measured. Furthermore, there is limited water exchange compared to the field situation. The effects are therefore intensified, and the results obtained in the present experiment are therefore considered to represent a worst-case scenario.

1 Bakgrunn og formål

I forbindelse med forsøk utført med gruveavgang fra Titania A/S som en del av prosjektet NYKOS (Ny kunnskap om sjødeponering), fikk NIVA midler av Titania til å opparbeide og vurdere effekter på bløtbunnsfauna. Resultatene skulle oversendes i en kortfattet rapport, med beregning av indekser for faunaen, multivariat statistikk samt presentasjon og tolkning av funnene. Vi har også lagt inn analyse av metaller og klassifisering av disse.

2 Materiale og metode

2.1 Feltinnsamling, gjennomføring og avslutning

Intakte bløtbunnsfunn ble innsamlet med boxcore-prøvetaker (0,1 m²) med UiOs fartøy «FF Trygve Braarud» 16. mars 2017 på 175 m dyp mellom Drøbak og Solbergstrand. Samme dag ble boxcore-linene plassert i bløtbunnsbasseng på NIVAs forsøksstasjon på Solbergstrand. Her stod de under lav belysning i gjennomstrømmende, ufiltrert vann som pumpes opp fra 60 m dyp i Oslofjorden utenfor stasjonen og som regulerer temperaturen til ca. 10°C.

Tre linere ble tilsatt ca. 2 cm gruveavgang fra Titania og tre linere fungerte som kontroll uten noen tilsetning (Figur 1). Tidligere forsøk med tilsetning av tilsvarende mengder naturlige mineralske masser (sand og leirsedimenter) har ikke gitt vesentlig effekt på bunnfaunaen fra (Tranum et al., 2010, Näslund et al., 2011). I samme forsøk inngikk linere behandlet med avgang fra Nussir, men disse inngår ikke i rapporten.

Avgangsmassen i forsøket var totalavgang tatt direkte fra prosessen. Følgende informasjon om avgangen foreligger (informasjon fra Titania i desember 2017):

- Svovelsyre, tallolje og parafin/solvent benyttes i ilmenitt-flotasjonen - flotasjon benyttes kun på massene som er mindre enn 100 µm, 30% av prosessen, men de resterende 70% gjennomgår gravimetrisk separasjon og er derfor ikke i kontakt med kjemikalier.
- I magnetitt- og kis-flotasjonen benyttes kalium amyl xantat, kobbersulfat, polypropylenglykol og natriumsilikat pentahydrat (relativt små mengder)
- Som flokkuleringsmiddel for avvanning av slammet er det benyttet polymeren «Nalco 508».

Avgangen ble sendt til NIVA februar/mars 2015, og ble da levert i plastfat med 1/3 avgang og 2/3 vann. De har delvis vært frosset på grunn av lagring i garasje. Vannet ble drenert og erstattet med litt sjøvann (fra 60m). Massen ble tint med varmetang 2,2 kW som ga kortvarig oppvarming av vannet over avgangen til maksimum 30 grader C°. Avgangen ble så tatt opp med en liten spade, og 4 kg våt avgang ble overført til plastbøtter der de ble suspendert i sjøvann før tilsetning i vannet i linerene over sedimentene slik at avgangen kunne sedimentere så jevnt som mulig. Tilsettingen fant sted dagen etter innsamling. Nominell lagtykkelse var 2 cm, beregnet ut fra en våtvekt på 2 g/cm³.



Figur 1. Mesokosmos-forsøket med Titania-tailings, 2017 (i samme forsøk inngikk linere behandlet med avgang fra Nussir, men disse inngår ikke i rapporten).

Sedimentprøver til metallanalyse ble innsamlet fra linerne vha. en liten kjerneprøvetaker 4. mai 2017, fra sjiktet 0-1 cm, 1-3 cm og 3-5 cm. Prøvene ble sentrifugert og lagret ved -20°C frem til videre opparbeiding og kjemisk analyse.

Ved forsøkets slutt 19. september 2017 ble sedimentet i linerne prosessert iht. standard metodikk (NS-EN ISO 16665:2013). Hver prøve ble beskrevet visuelt mht. sedimentets beskaffenhet, farge, lagdeling, synlige dyr og andre karakteristika. Fargen ble beskrevet vha. Munsells fargekart for jord og sedimenter. Bunnmaterialet ble siktet med sjøvann gjennom sikter med hullstørrelse på 5 mm og 1 mm. Sikterestene ble overført forsiktig til bøtten og konserverert med 10-20% bufret formalin-sjøvannsløsning. 1 ss boraks ble tilsatt for ytterligere bufring. En prøve fra hver kjerne ble da samlet inn med en liten kjerneprøvetaker (diameter 6 cm) for analyse av kornfordeling (mengde finstoff, %<0,063 mm) og innhold av totalt organisk karbon (TOC) og totalt nitrogen (TN) i sedimentet.

2.2 Laboratorie- og data-analyser og klassifisering

Sedimentets finfraksjon (% < 0,063 mm) ble bestemt ved våtsikting. TOC og TN ble analysert med en elementanalysator etter at uorganiske karbonater var fjernet i syredamp. Til klassifisering av TOC benyttes SFT-veileder 97:03 som er inkludert i Veileder 02:2013 – rev 2015. Klassifiseringen av TOC er basert på finkornet sediment, og prøven standardiseres derfor for teoretisk 100% finstoff etter formelen:

Normalisert TOC = målt TOC + 18 (1-F), hvor F er andelen finstoff (partikkelstørrelse < 63 µm).

Sedimentprøvene ble analysert for metaller med ICP/MS ved Eurofins laboratorier.

De biologiske prøvene ble på laboratoriet sortert under lupe til taksonomiske hovedgrupper. Utplukket materiale ble oppbevart på etanol (minst 80 %) etter sortering, deretter identifisert. Artslistene ble lagt inn i NIVAs bløtbunnsdatabase, hvor artsnavnene er oppdatert iht. World Register of Marine Species (www.marinespecies.org) for å sikre at gyldig nomenklatur benyttes.

Ut fra artslister og individtall ble følgende indekser for artsmangfold og ømfintlighet beregnet (iht. Veileder 02:2013 – rev 2015):

- artsmangfold ved indeksene H' (Shannons diversitetsindeks) og ES100 (Hurlberts diversitetsindeks)
- ømfintlighet ved indeksene ISI2012 (Indicator Species Index) og NSI (Norwegian Sensitivity Index)
- den sammensatte indeksen NQI1 (Norwegian Quality Index), som kombinerer både artsmangfold og ømfintlighet
- DI, som er en indeks for individtetthet, utviklet spesielt for tilfeller med svært individfattig fauna (for eksempel ved svært høye miljøgiftkonsentrasjoner eller lite oksygen) eller svært individrik fauna (for eksempel ved stor grad av organisk beriking).

Indeksene ble beregnet for hver liner. Ut fra gjennomsnittet av hver behandling ble det så beregnet en nEQR (normalised Ecological Quality Ratio), som angir samlet klassifisering ut fra de ulike indeksene. Tilstanden spenner fra klasse I («svært god» tilstand) til klasse IV («svært dårlig» tilstand). For å tilfredsstille kravet i vannforskriften, må det oppnås en nEQR over 0,6 (grenseverdien mellom «god» og «moderat» tilstand).

DI er en relativt ny indeks. Erfaringer har vist at indeksen i mange tilfeller gir avvikende tilstandsklasse fra de øvrige indeksene, og at den ut fra faglige vurderinger i enkelte tilfeller kan være misvisende. På grunn av disse erfaringene har Miljødirektoratet anbefalt å ta ut DI i beregning av samlet økologisk tilstand, inntil det foreligger en ny vurdering av klassifiseringsmetodikken. Indeksen skal heller ikke klassifiseres, men likevel presenteres. Vi har valgt å følge denne anbefalingen i dette notatet.

Likhet i arts sammensetning mellom prøvene ble analysert vha. multivariat statistikk. Det ble utført en klassifikasjon (clusteranalyse) og en ordinasjon (MDS - Multi Dimensional Scaling), som grupperer prøver ut fra graden av likhet i artssammensetning. Disse metodene bygger på Bray-Curtis likhetsindeks, som er beregnet for alle par av prøver i datasettet. Forut for likhetsberegningen ble artsdataene transformert med dobbelt kvadratrottransformasjon for å nedskalere betydningen til de mest dominerende artene samt tilfeldig variasjon. I clusteranalysen grupperes prøvene sammen med en avstand som er avhengig av likheten mellom dem. Resultatene fremstilles som et dendrogram der prøvenes prosentvise likhet vises. To prøver med identisk arts- og individfordeling vil få verdien 0 (0 % ulikhet), mens to stasjoner uten like arter, vil få verdien 100 (100 % ulikhet). I MDS-ordinasjonen fremstilles prøvene som punkter, hvor avstanden reflekterer ulikheten mellom dem. Her får man også ut en «stress-faktor» (plassert øverst i høyre hjørne på MDS-plottet) som angir hvor godt det to-dimensjonale plottet reflekterer det flerdimensjonale datasettet. Vi har også utført analysen SIMPER («Similarity percentages») for å få informasjon om hvilke arter som bidrar mest til ulikheten i de to behandlingene. De multivariate analysene ble utført med den statistiske programpakken PRIMER (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research).

3 Resultater og diskusjon

3.1 Sedimentparametere

Innholdet av finstoff, totalt organisk karbon og totalt nitrogen for hver liner er gitt i Tabell 1. Sedimentet var generelt finere i kontroll (dvs. fra fjordlokaliteten) enn fra Titania-linerne. I Titania-linerne varierte det en del, hvilket antakelig er et resultat av at dyrene som var tilstede, mikset sedimentet (bioturbasjon). Innholdet av både organisk karbon og totalt nitrogen var vesentlig lavere i Titania-linerne enn i kontroll-linerne, hvilket skyldes at avgangsmassen er uorganisk. I boks 20 var både innholdet av karbon og nitrogen under deteksjonsgrensen. Iht. klassifiseringen for normalt organisk karbon ble tilstanden «god» i kontrollene og «svært god» i Titania-linerne. Som påpekt i overvåkingsrapporten for Titania i 2016 (Tranum, 2016), er det her viktig å være klar over at klassifiseringen er utviklet med tanke på at høy organisk belastning (eutrofiering) er et problem i mange resipienter. I Jøssingfjorden vil den naturlige tilførselen av organisk karbon fortynnes med gruveavgang med svært lavt innhold av slikt materiale.

Tabell 1. Sedimentets finfraksjon, innhold av totalt organisk karbon (TOC), totalt nitrogen (TN) og normalisert organisk karbon i mesokosmos-forsøket på Solbergstrand, 2017. Grønn = god tilstand (klasse II), blå = svært god tilstand (klasse I).

Boks	Behandling	Finfraksjon (%<63µm)	TOC (µg/mg)	TN (µg/mg)	Norm TOC
32	K	86	22,7	3	25,2
1	K	87	23,1	2,7	25,4
10	K	80	23,2	3,3	26,8
20	T	58	<1	<1	<8,6
4	T	77	3,5	<1	7,6
14	T	35	7,1	<1	18,8

Innholdet av metaller, prøvetatt for sjiktene 0-1, 1-3 og 3-5 cm, er gitt i Tabell 2. Konsentrasjonen av kobber (Cu) og nikkel (Ni) var høyt i linerne med Titania-tailings, for Cu tilsvarende klasse IV og V og for Ni tilsvarende klasse III og IV. Det var tendens til lavere konsentrasjon nedover i sedimentet, som forventet ettersom nominell lagtykkelse var 2 cm. Forhøyede konsentrasjoner sammenlignet med kontrollsedimentene i det nederste sjiktet (3-5 cm) indikerer blanding som følge av bioturbasjon. For de metallene som hadde høyere konsentrasjon i fjordsedimentet enn i gruveavgange (Pb, Cd, Zn), var det motsatt trend i Titania-linerne, dvs. økt konsentrasjon med dypet. De resterende metallnivåene i Titania-linerne tilsvarte klasse I («bakgrunn»), med unntak av bly (Pb) og sink (Zn) i nederste sjikt i en prøve. Fjordsedimentet hadde innhold av sink (Zn) tilsvarende klasse III («moderat tilstand»), bly (Pb) og nikkel (Ni) tilsvarende klasse II («god tilstand») og kadmium (Cd) og kobber (Cu) tilsvarende klasse I («bakgrunn»). Det foreligger ingen klassifisering av kobolt, men det kan bemerkes at det var 2-3 ganger så høyt nivå i Titania-linerne enn kontroll.

Tabell 2. Innhold av metaller (mg/kg) i sedimentet i linerne, i tre sjikt. Grenseverdier i klassifiseringen er hentet fra Miljødirektoratets rapport M-608. Blå = svært god tilstand (klasse I), grønn = god tilstand (klasse II), gul = moderat tilstand (klasse III), oransje = dårlig tilstand (klasse IV) og rød = svært dårlig tilstand (klasse V).

Liner		Dyp (cm)	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Co
32	K	0-1	54	0,12	29	36	150	19
32	K	1-3	52	0,10	28	35	150	19
32	K	3-5	58	0,12	30	38	160	21
1	K	0-1	58	0,12	30	37	160	19
1	K	1-3	57	0,12	30	37	160	19
1	K	3-5	56	0,11	27	34	150	18
10	K	0-1	52	0,10	27	35	140	18
10	K	1-3	57	0,11	31	38	160	20
10	K	3-5	56	0,12	30	38	150	20
20	T	0-1	1,2	0,038	170	340	19	56
20	T	1-3	7,8	0,045	120	250	33	49
20	T	3-5	17	0,058	98	200	57	43
4	T	0-1	7,3	0,052	180	370	41	59
4	T	1-3	15	0,066	150	300	58	51
4	T	3-5	37	0,098	77	150	110	33
14	T	0-1	0,25	0,023	120	220	13	44
14	T	1-3	1,1	0,028	110	220	14	44
14	T	3-5	18	0,055	77	150	58	34

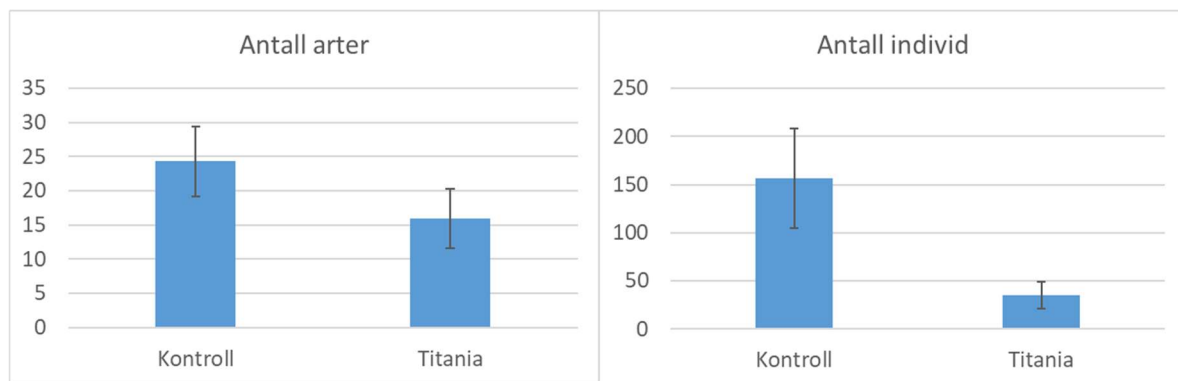
3.2 Faunaparametere

Faunaparametere samt antall arter og antall individ er vist i Tabell 3. Artsantall og individantall pr. behandling er også vist i Figur 2. Artslister er gitt i Vedlegg 1. Både artsrikheten og indivitettheten ble redusert i linerne tilsatt Titania-avgang sammenliknet med kontroll. Reduksjonen var særdeles kraftig mht. antall individ, med kun < 25 % av individmengden i Titania-linerne sammenliknet med kontroll. Aller færrest individ og arter hadde liner 20, som også viste det laveste innholdet av organisk karbon og nitrogen. Dette kan indikere at næringsgrunnlaget ble redusert.

Indeksene ga ikke samme utslag som antall arter og antall individ. Samlet tilstand ble «god» i begge behandlinger. En rekke faktorer er imidlertid viktig å være klar over i denne sammenheng, og som gjør at disse resultatene kan være misvisende. En parallell reduksjon i antall arter og antall individ vil ikke nødvendigvis gjøre utslag på indeksene (spesielt Shannon-Wiener, H'). I mesokosmoset måles videre kun dødelighet av (ømfintlige) arter, mens økning i forurensningstolerante arter ikke finner sted, hvilket gjør at man får mindre utslag på indeksene hvor artenes ømfintlighet inngår. Sist må det merkes at ES₁₀₀ ikke kunne beregnes for Titania-linerne fordi de hadde færre enn 100 individ.

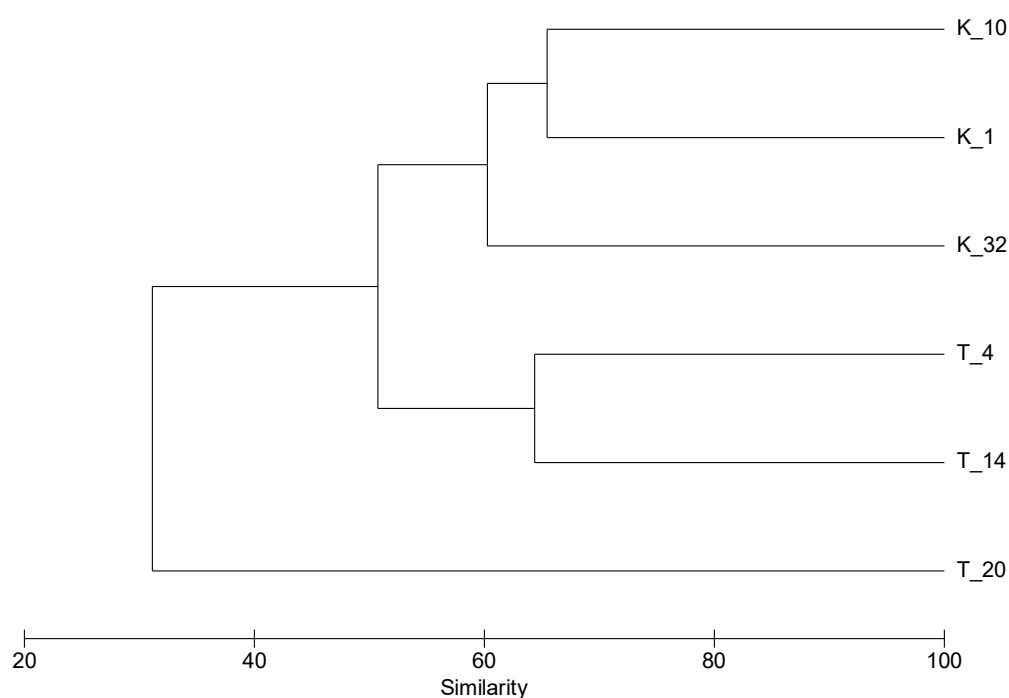
Tabell 3. Antall arter (S), antall individ (N) og bløtbunnsindekser for bløtbunnsfaunaen i mesokosmos-forsøket på Solbergstrand, 2017. nEQR er gjennomsnittet av nEQR-verdiene for hver enkelt indeks (ikke vist). Gjennomsnittlig nEQR er gjennomsnittet av de tre linerne pr. behandling og viser samlet tilstand (beregnet uten ES_{100} og uten DI). Blå = svært god tilstand (klasse I), grønn = god tilstand (klasse II), gul = moderat tilstand (klasse III).

		S	N	NQI1	H'	ES_{100}	ISI_{2012}	NSI	DI	nEQR	Gj.snitt nEQR
32	K	20	106	0,772	3,15	19,48	9,51	25,51	0,025	0,743	
1	K	30	209	0,765	3,74	22,58	8,33	25,02	0,270	0,726	
10	K	23	155	0,744	3,32	19,92	8,78	25,90	0,140	0,727	0,732
20	T	11	19	0,662	3,29	-	7,76	22,83	0,771	0,651	
4	T	18	42	0,717	3,69	-	7,69	23,80	0,427	0,685	
14	T	19	44	0,688	3,92	-	7,21	21,97	0,407	0,650	0,662

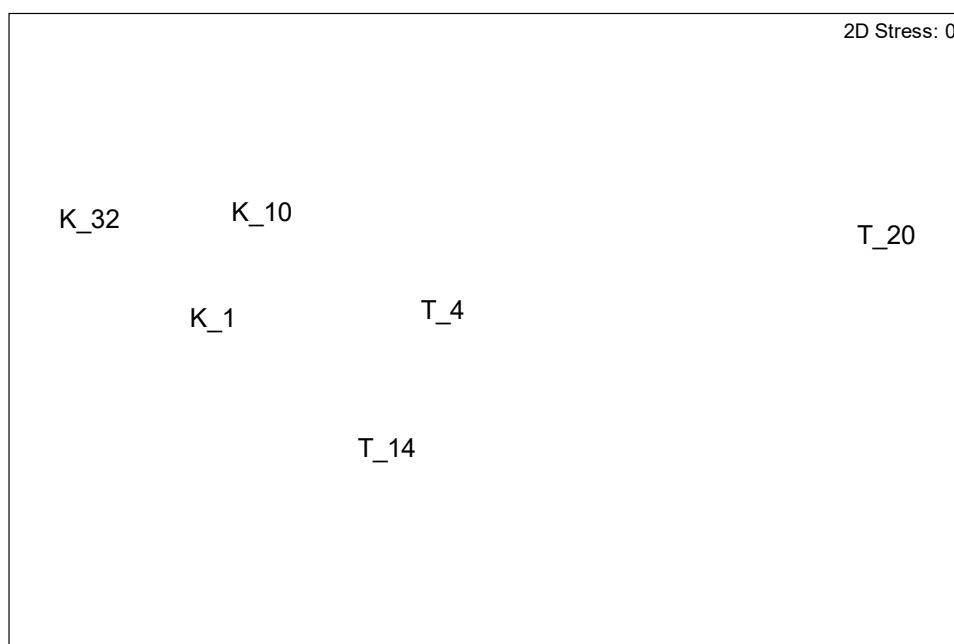


Figur 2. Antall arter og antall individ i kontroll- og Titania-linerne ($\pm$ standardavvik).

Clusteranalyse av faunaen er vist i Figur 3 og MDS-ordinasjon i Figur 4. Den ene lineren med Titania-fauna (T20) skilte seg ut i begge plottene. Det var også denne som viste lavest individ- og artsantall, og som videre hadde særdeles lavt innhold av organisk karbon og nitrogen. De to resterende Titania-linerne ble gruppert sammen, og kontrollene i en siste gruppe.



Figur 3. Clusteranalyse av faunaen i mesokosmos-forsøket på Solbergstrand, 2017.



Figur 4. MDS-ordinasjon av faunaen i mesokosmos-forsøket på Solbergstrand, 2017.

Resultatet av SIMPER-analysen er vist i Tabell 4, og responsen til enkelte arter drøftes kort. Det var muslinger som bidro mest til forskjellen mellom gruppene, hvilket også henger sammen med at det generelt var muslinger som dominerte faunaen i dette forsøket. Særlig muslingene *Nucula sulcata* og *Mendicula ferruginosa* (tidligere navn *Thyasira ferruginea*) ble kraftig redusert i Titania-linerne. *N. sulcata* er en liten musling som lever som «subsurface deposit feeder», og kan derfor muligens ha blitt påvirket av tap av næring påvist ved den reduserte mengden TOC og TN i sedimentet. I det

tidligere NYKOS mesokosmos-forsøket med avgangsmaterialer fra Hustadmarmor, Sibelco og Syd-Varanger syntes den å bli påvirket av Hustadmarmor-avgangen spesielt (Trannum et al., innsendt manuskript). Også *M. ferruginosa* er liten og lever som «subsurface deposit feeder», men får også næring gjennom symbiotiske bakterier. I NYKOS mesokosmos-forsøket viste den også en respons, i særdeles på Hustadmarmor-avgangen, hvor det fra 2 cm tilsatt materiale (tilsvarende tykkelsen her) var kun maks to gjenlevende individ pr. boks. Det er også interessant at den i overvåkingen i Jøssingfjorden i 2015 ble funnet i Dyngadjupet og på referensstasjonen, men ikke på de to stasjonene inne i selve fjorden (Trannum, 2016).

Muslingen *Parathyasira equalis* (tidligere navn *Thyasira equalis*), som har samme levevis som *Mendicula ferruginosa*, ble også vesentlig redusert i Titania-linene sammenliknet med kontroll. Også denne responsen samsvarer godt med funnet i NYKOS mesokosmos-forsøket, hvor den var sensitiv ovenfor Hustadmarmor- og Sibelco-avgangen. Muslingene *Abra nitida* og *Abra alba* var også blant artene som responderte med lav overlevelse på Titaniaavgangen. Disse artene lever dels av å filtrere vannmassen nærmest sedimentene, som ofte kan inneholde både næringsrike organisk partikler og resuspenderte sedimentpartikler, og dels av organisk materiale på sedimentoverflaten. Responsen til *Abra nitida* samsvarer godt med det tidligere mesokosmos-forsøket, hvor arten ikke tålte selv de laveste dosene med Hustadmarmor-avgang, og også responderte på Sibelco-avgangen, som ikke inneholdt verken kjemikalier eller toksiske nivåer av tungmetaller. Arten ble registrert i Jøssingfjorden i 2015, inkl. på den innerste stasjonen. I en feltsituasjon antas den derfor å kunne unngå stor grad av eksponering gjennom å livnære seg med «ordinært» sedimenterende materiale. Dette er det lite av i mesokosmoset, men kontrollsedimentene inneholder sannsynligvis tilstrekkelig organisk materiale på sedimentoverflaten til at arten kan overleve ved å ernære seg av dette.

Sjømusen *Brissopsis lyrifera* er en stor art med naturlig patchy fordeling. Den var derfor ikke tilstede i samtlige bokser fra start, og resultatene kan ikke tillegges altfor mye vekt. Det er imidlertid viktig å være klar over at denne arten er svært stor i forhold til de andre og ofte dominerer biomassemessig. Den beskrives som en «bulldozing, non-selective subsurface deposit feeder», og bl.a. øker den oksygeneringen av sedimentet. Når denne arten dør, kan man derfor relativt raskt få ytterligere dårlige forhold i sedimentet. Videre kan nedbrytningen av den bidra til oksygensvinn. Denne mekanismen kan ha intensivert de negative effektene av Titania-avgangen, og i boks 20 i særdeleshett. I denne boksen ble det funnet minst to døde sjømus, og man har derfor visshet om at de var tilstede fra start. I de to siste Titania-linene ble både levende og døde sjømus registrert under siktingen, og effektene var heller ikke like kraftige på de øvrige artene. Til sammenlikning var det ingen observasjoner av døde sjømus i kontrollene, hvor åtte individ var tilstede i den ene boksen og fire i den andre. Den tredje hadde ingen sjømus tilstede fra start. Dette tyder på at det ikke er forholdene i mesokosmoset som var årsak til den store dødeligheten av denne arten, men altså avgangsmassen. I overvåkingen av Jøssingfjorden i 2015 ble noen få individ av sjømus observert (to ulike arter), men det var såpass lavt antall at man ikke kan angi noen trend. Det kan likevel anmerkes at det ikke var noen individ på stasjon 3 innerst i Jøssingfjorden og stasjon 9 nærmest det gamle utslippspunktet i Dyngadjupet.

Innenfor omfanget av dette notatet inngår ingen omfattende diskusjon av årsakssammenhenger til reduksjonen i fauna. Kort nevnes at næringsgrunnlaget til faunaen ble redusert, som vist ved lavere innhold av nitrogen og organisk karbon i sedimentet. Liner 20 hadde det aller laveste innholdet av næring og også den aller laveste faunetettheten, som underbygger at næringsgrunnlaget har spilt inn. Dernest var det høyere konsentrasjoner av metallene kobber og nikkel, tilsvarende klasse III-V, og videre vil avgangen også inneholde rester av produksjonskjemikalier. Dette kan ha gitt en toksisk effekt. Også nedslammingen som sådan kan ha påvirket faunaen, men her nevnes at tidligere forsøk med sedimentering av 2,4 cm ordinært sediment ikke har gitt noen negative effekter på

bunnfaunaen (Trannum et al., 2010). Sist er det mulig at partiklene skadet faunaen ved at de pga. knusingen i produksjonsprosessen antakelig er mer skarpkantet enn ordinært sediment.

Tabell 4. SIMPER-analyse av faunaen i mesokosmos-forsøket på Solbergstrand, 2017, fordelt på gruppene kontroll og Titania. Prosentvis og kumulativ prosentvis bidrag til ulikheten mellom gruppene er også vist.

	Gj.snitt kontroll	Gj.snitt Titania	Bidrag %	Kum. bidrag %
<i>Nucula sulcate</i>	40	3,67	25,90	25,9
<i>Mendicula ferruginosa</i>	36,67	3,67	21,76	47,67
<i>Parathyasira equalis</i>	15	2,33	8,75	56,42
<i>Abra nitida</i>	6,33	0,67	4,04	60,46
<i>Abra alba</i>	5,67	0	3,77	64,23
<i>Nucula</i> sp. juv.	5,67	0,67	3,48	67,72
<i>Paramphinoe jeffreysii</i>	6,33	3,33	3,39	71,1
<i>Brissopsis lyrifera</i>	4	1	2,97	74,08
<i>Ennucula tenuis</i>	3,67	0	1,98	76,05
<i>Onchnesoma steenstrupii</i> <i>steenstrupii</i>	4,33	1,33	1,97	78,02
<i>Ceratocephale loveni</i>	3	1,33	1,74	79,76
<i>Cuspidaria obesa</i>	2	0	1,42	81,17
Ophiuroidea indet juv.	2,33	0,33	1,41	82,59
<i>Chone</i> sp.	2,33	0,67	1,40	83,98
<i>Neoleanira tetragona</i>	2	0,33	1,27	85,25
<i>Heteromastus filiformis</i>	1	2,33	1,21	86,47
Nemertea indet	1,33	2,33	1,11	87,58
<i>Chaetozona</i> sp.	0,67	1,33	1,10	88,68
<i>Galathowenia oculata</i>	1,67	1,67	1,08	89,76
<i>Euchone papillosa</i>	1,67	0,67	1,06	90,82

4 Konklusjon

Tilsetting av 2 cm avgangsmasser fra Titania ga en betydelig reduksjon i tettheten til bløtbunnsfaunaen. I Titania-linerne var det høye konsentrasjoner av metallene kobber og nikkel, tilsvarende klasse III-V, som tilsier risiko for toksisk effekt. Videre ble næringsgrunnlaget til faunaen redusert, vist ved lavere innhold av nitrogen og organisk karbon i sedimentet. Sist er det mulig at partiklene skadet faunaen ved at de pga. knusingen i produksjonsprosessen antakelig er mer skarpkantet enn ordinære sedimentpartikler.

Iht. bløtbunnindeksene tilsvarte tilstanden «god». Her er det svært viktig å være klar over at indeksapparatet ikke er så godt egnet til å fange opp tilfeller hvor man har en parallell reduksjon i både antall individ og antall arter, og at man i mesokosmoset ikke får kolonisering av forurensningstolerante arter som i en feltsituasjon. I dette tilfellet er det altså dødeligheten og tap av artsrikhet som klart viser at avgangen medførte betydelige effekter. Her kan det videre nevnes at indeksene også i overvåkingen tilsvarte «god» tilstand til og med på den innerste stasjonen, hvor det fortsatt slippes ut mye partikler, til tross for at det var klare indikasjoner på faunaforstyrrelser.

Forsøksoppsettet er svært realistisk ved at man kan utføre kontrollert testing på intakte bunnsamfunn i sitt naturlige miljø. Samtidig er det viktig å være klar over at effektene blir intensivert. Resultatene som er fremkommet i det foreliggende eksperiment, anses derfor å representere et worst case scenario.

5 Referanser

M-608. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Miljødirektoratet veileder M-608/2016.

NS-EN ISO 16665:2013. Vannundersøkelse. Retningslinjer for kvantitativ prøvetaking og prøvebehandling av marin bløtbunnsfauna (ISO 16665:2014).

Näslund, J., Samuelsson, G., Gunnarson, J., Nascimento, F, Hans C. Nilsson, H.C., Cornelissen, G. and Schaanning, M.T., 2011. A benthic mesocosm study on ecosystem effects of thin layer capping materials suggested for sediment remediation. *Marine Ecology Progress Series* 449:27-39. doi10.3354/meps09546.

Trannum, H.C., Nilsson, H.C., Schaanning, M.T., Øxnevad, S., 2010. Effects of sedimentation from water-based drill cuttings and natural sediment on benthic macrofaunal community structure and ecosystem processes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 383(2010) 111-121.

Trannum, H.C., 2016. Overvåking av marin bløtbunnsfauna for Titania A/S i 2015. NIVA-rapport 7010, 41 s.

Veileder 02:2013 - rev 2015. Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver.

6 Vedlegg

Vedlegg 1. Artsliste fra forsøket.

GRUPPENAVN	FAMILIENAVN	GYLDIG_SYNONYM_WoRMS_sp	K_32	K_1	K_10	T_20	T_4	T_14	Sum
ANTHOZOA	Edwardsiidae	Paraedwardsia arenaria					1		1
NEMERTEA		Nemertea indet		2	2	2	1	4	11
POLYCHAETA	Amphinomidae	Paramphionome jeffreysii		13	6		4	6	29
POLYCHAETA	Aphroditidae	Aphrodita aculeata		1					1
POLYCHAETA	Polynoidae	Harmothoe extenuata				1			1
POLYCHAETA	Sigalionidae	Neoleanira tetragona	2	1	3			1	7
POLYCHAETA	Phyllodocidae	Eteone longa					1		1
POLYCHAETA	Pholoidae	Pholoe baltica		2					2
POLYCHAETA	Hesionidae	Nereimyra punctata		1				1	2
POLYCHAETA	Syllidae	Parexogone hebes		1					1
POLYCHAETA	Nereidae	Ceratocephale loveni		4	5		3	1	13
POLYCHAETA	Nephtyidae	Nephtys ciliata				1			1
POLYCHAETA	Onuphidae	Paradiopatra quadricuspis	1						1
POLYCHAETA	Lumbrineridae	Lumbrineris sp.		1					1
POLYCHAETA	Paraonidae	Levinsonia gracilis				1			1
POLYCHAETA	Paraonidae	Paradoneis eliasoni	2	4	4	2	4	2	18
POLYCHAETA	Spionidae	Pseudopolydora paucibranchiata				1			1
POLYCHAETA	Cirratulidae	Aphelocheata sp.		1					1
POLYCHAETA	Cirratulidae	Chaetozone sp.	1	1				4	6
POLYCHAETA	Flabelligeridae	Diplocirrus glaucus			2				2
POLYCHAETA	Opheliidae	Ophelina norvegica			1				1
POLYCHAETA	Capitellidae	Heteromastus filiformis		1	2	3	1	3	10
POLYCHAETA	Oweniidae	Galathowenia oculata	1	3	1		1	4	10
POLYCHAETA	Sabellidae	Chone duneri		2					2
POLYCHAETA	Sabellidae	Chone sp.		3	4		1	1	9
POLYCHAETA	Sabellidae	Euchone papillosa	1	4			2		7
POLYCHAETA	Sabellidae	Euchone sp.					1	1	2
OLIGOCHAETA		Oligochaeta indet				1	1	1	3
OPISTHOBANCHIA	Philineidae	Philine aperta			1				1
BIVALVIA		Bivalvia indet	1						1
BIVALVIA	Nuculidae	Ennucula tenuis		11					11
BIVALVIA	Nuculidae	Nucula sp. juvenil	4	6	7		2		19
BIVALVIA	Nuculidae	Nucula sulcata	42	51	27	3	2	6	131
BIVALVIA	Nuculanidae	Nuculana minuta	1						1
BIVALVIA	Mytilidae	Modiolus modiolus	1	1					2
BIVALVIA	Thyasiridae	Mendicula ferruginosa	14	44	52		10	1	121
BIVALVIA	Thyasiridae	Parathyasira equalis	9	15	21		5	2	52
BIVALVIA	Cardiidae	Acanthocardia echinata			1				1
BIVALVIA	Scrobiculariidae	Abra alba	5	11	1				17
BIVALVIA	Scrobiculariidae	Abra nitida	7	9	3			2	21
BIVALVIA	Cuspidariidae	Cuspidaria obesa	1	1	4				6
PCYNOGONIDA		Callipallenidae indet	1						1
COPEPODA		Harpacticoida indet						1	1
CUMACEA	Diastylidae	Diastylodes serratus			1				1
ISOPODA	Janiridae	Janira maculosa						1	1
AMPHIPODA	Melitidae	Eriopisa elongata		1					1
SIPUNCULIDA		Onchnesoma steenstrupii steenstrupii	2	8	3	3	1		17
OPHIUROIDEA		Ophiuroidea juvenil	2	2	3	1			8
ECHINOIDEA	Brissidae	Brissopsis lyrifera	8	4			1	2	15
ASCIDIACEA		Molgula occulta			1				1

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 tilnærmingssmåte 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