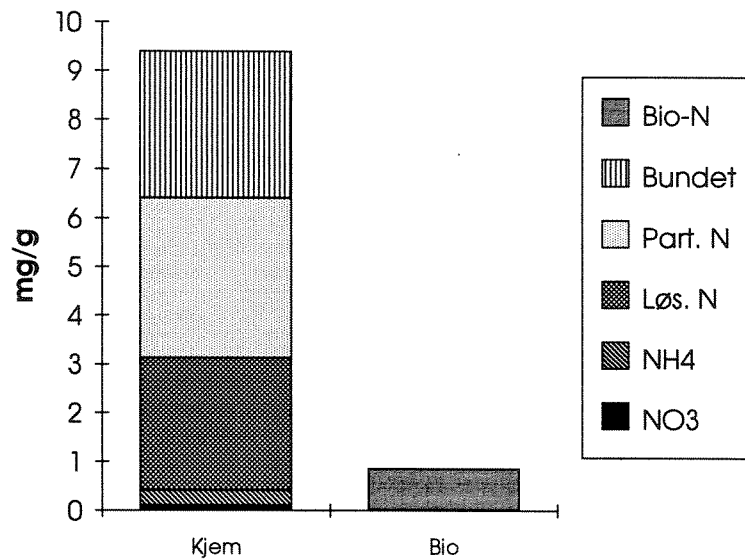




O-92114

Undersøkelse av dicy-kalk fra Odda Smelteverk



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
O-92114	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
2886	

Hovedkontor	Sørlandsavdelingen	Østlandsavdelingen	Vestlandsavdelingen	Akvaplan-NIVA A/S
Postboks 69, Korsvoll	Televeien 1	Rute 866	Thormøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0808 Oslo 8	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47 2) 18 51 00	Telefon (47 41) 43 033	Telefon (47 65) 76 752	Telefon (47 5) 32 56 40	Telefon (47 83) 85 280
Telefax (47 2) 18 52 00	Telefax (47 41) 44 513	Telefax (47 65) 76 653	Telefax (47 5) 32 88 33	Telefax (47 83) 80 509

Rapportens tittel: Undersøkelse av dicy-kalk fra Odda Smelteverk	Dato: 16.11.92	Trykket: NIVA 1992
	Faggruppe: Miljøtoksikologi	
Forfatter(e): Torsten Källqvist	Geografisk område: Sogn og Fjordane	
	Antall sider: 12	Opplag: 50

Oppdragsgiver: Odda Smelteverk	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
--	---

Ekstrakt:

Dicy-kalk (filterkake) fra Odda Smelteverk er blitt undersøkt m.h.t. biologisk tilgjengelighet av nitrogen, oksygenforbruk, utløsning av metaller og gifteffekter på alger. Algetester viste at 9% av nitrogeninnholdet var biologisk tilgjengelig. Utløsning av tungmetaller i sjøvann var ca. 40 % for bly og <1% for øvrige metaller. Oksygenforbruket etter innblanding i sjøvann var 5.3 mg/g kalk etter 29 døgn. Gifteffekter i vannfasen ble registrert ved høy innblanding (250 g/l) i sjøvann. Ved fortykning av vannfasen til 32% ble gifteffektene fjernet. Venturislam fra samme bedrift ga en betydelig sterkere giftvirkning.

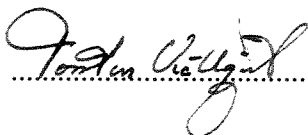
4 emneord, norske

1. Fast avfall
2. Tungmetaller
3. Giftighet
4. Oksygenforbruk

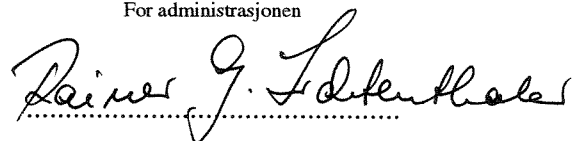
4 emneord, engelske

1. Solid waste
2. Heavy metals
3. Toxicity
4. Oxygen consumption

Prosjektleder


.....

For administrasjonen


.....

ISBN 82-577-2301-0

Norsk Institutt for Vannforskning

O-92114

Undersøkelse av dicy-kalk fra Odda Smelteverk

Prosjektleder: Torsten Källqvist
Medarbeidere: Harry Efraimsen
Liv Bente Skanke
Kristin Laake

INNHOILDSFORTEGNELSE

1. Sammendrag.....	3
2. Bakgrunn	4
3. Materiale og metoder	4
3.1 Prøver.....	4
3.2 Tilgjengelighet av nitrogen.....	5
3.3 Metaller i slam og elutriat.....	6
3.4 Oksygenforbruk	6
3.5 Toksitetester.....	6
4. Resultat.....	7
4.1 Tilgjengelighet av nitrogen.....	7
4.2 Metaller i elutriat.....	7
4.3 Oksygenforbruk	8
4.4 Toksitet	10
5. Kommentarer.....	11
6. Referanser	12

1. Sammendrag

Som grunnlag for vurderingen av miljøeffekter av utslipp av dicy-kalk (filterkake) fra Odda Smelteverk er det utført kjemiske analyser og biologiske tester med marine planktonalger. Undersøkelsene har omfattet løselighet av metaller, oksygenforbruk, biologisk tilgjengelighet av nitrogen og fosfor samt toksiske effekter. En giftighetstest er også utført på venturislam fra bedriften.

Vekstpotensialmålinger med alger viste at 9% av nitrogenet i dicy-kalken var tilgjengelig for algevekst.

Tungmetallene i dicy-kalken var, med unntak for bly, lite løselige i sjøvann. I en blandning av 250 g kalk i 1 liter sjøvann ble ca. 40% av blyinnholdet (350 µg/l) løst ut i vannfasen (elutriatet). For de øvrige metallene var konsentrasjonene meget lavere enn for bly.

Ved innblanding av dicy-kalk i naturlig sjøvann skjer et forbruk av løst oksygen i vannet. Forbruket skjer først meget raskt men avtar gradvis med tiden. Det samlede oksygenforbruket etter 29 døgn var 5.3 mg/g kalk, men det hadde fortsatt ikke stagnert etter en måned.

Elutriatet fra en blandning av 250 g dicy-kalk i 1 liter sjøvann var giftig for planktonalger. I full konsentrasjon var veksthemmingen total men ved fortykning til 32% kunne ingen veksthemmende effekt registreres. Gifteffektene kan skyldes utløsning av tungmetaller.

I elutriatet av venturislam var veksthemmingen fullstendig ned til 10% konsentrasjon. Resultatet tyder på at venturislammet avgir forholdsvis mye giftige komponenter til vannfasen.

2. Bakgrunn

Behovet for undersøkelser av utslipp fra Odda Smelteverk ble diskutert på et møte 13.3.92. I en oppsummering fra møtet (SKE/LID J.nr. 1095/92) sies bl. a. følgende om utslippet av kalk fra dicyfabrikken:

"Masseberegninger som bedriften har gjort viser at mesteparten av kalken som slippes ut gjenfinnes i sedimentene i havnebassenget. Dette indikerer at sedimentasjonsegenskapene er gode. Kalken inneholder en del tungmetaller og nitrogen, men man regner med at disse er bundet i kalken og at det er all grunn til å tro at utslippet av venturi og kalk sammen har medført at PAH-stoffene stort sett har sedimentert i havnebassenget. Når venturislammene er fjernet fra utslippet til sjø vil det være positivt at kalken fortsatt slippes ut, hvertfall en tid, til at de sterkt PAH-forurensede sedimentene i Djupvik er tildekket. Når venturi-utslippet fjernes vil også vannmengden reduseres og kalk-slurryen får en større egenvekt. Det vil medføre at plumen med avløpsvann synker lettere til tross for at avløpsvannet inneholder ferskvann. Det betyr en bedret sedimentering av kalk i det utslippsnære området.

På grunnlag av møtet utarbeidet NIVA et forslag til undersøkelse for å fremskaffe grunnlag for å vurdere miljøkonsekvensene av fortsatt utslipp av dicy-kalk.

Følgende opplegg ble foreslått:

1. Algevekstpotensialmålinger som bekrefter eller avkrefter at nitrogenet i kalken er tilgjengelig for plankton. Dette har betydning for å vurdere utslippet i relasjon til eutrofi
2. Elutriat-test for å undersøke om metallene i kalken løses ut i vann.
3. Målinger av oksygenforbruk i sjøvann tilsatt dicy-kalk.
4. Undersøkelse av slammets giftvirkning på krepsdyr.

I et brev av 02.06.92 ber Odda Smelteverk NIVA om å gjennomføre pkt. 1-3 i forslaget. En prøve av dicy-kalk ble oversendt fra bedriften 29.05.92

I denne rapporten er resultatene av undersøkelsene sammen med resultatene av toksisitetstester utført på prøver av venturislam og dicy-kalk (filterkake) tatt i februar 1992 sammenstilt.

3. Materiale og metoder

3.1 Prøver

Følgende prøver er undersøkt:

Prøver	Toksisitet	Metaller i elutriat	tilgjengelig N	oksygenforbruk
Venturislam	x			
Dicy-kalk (1)	x			
Dicy-kalk (2)		x	x	x

3.2 Tilgjengelighet av nitrogen

Biologisk tilgjengelig N og P ble bestemt ved vekstpotensialmålinger med testalgen *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin. *P. tricornutum* er en encellet sjøvanns/brakkvanns kiselalge med vid saltholdighetstoleranse som er mye brukt som testalge ved vekstpotensialmålinger og toksisitetstester.

0.1 g av dicy-kalken ble fortynnet i 1 l av et næringsfattig sjøvann som var tatt fra overflatelaget i ytre Oslofjord i produksjonssesongen og filtrert gjennom 0.45 µm membranfilter. Prøven ble fordelt til kjemiske analyser og vekstpotensiemåling. Vekstpotensiemålingen ble gjort på ufiltrert prøve.

Kjemiske analyser av fosfor- og nitrogenforbindelser ble foretatt på ufiltrerte prøver og prøver filtrert gjennom 0.45 µm membranfilter (Millipore). Filtrerte prøver ble analysert for total P, løst reaktivt fosfor, total N, nitrat og ammonium. I de ufiltrerte prøvene ble det analysert total P, total N og løst reaktivt fosfor. Analysen ble utført på autoanalyser etter gjeldende Norsk Standard. Nitrogeninnholdet i tørr dicy-kalk ble også bestemt ved analyse med en Carbo Elba elementanalyser.

Ved vekstpotensiemålingene ble prøvene fordelt i 9 100 ml ståkolber med 50 ml i hver. Til disse ble det tilsatt nitrogen i form av NaNO₃ og fosfat i form av KH₂PO₄ som vist nedenfor.

Kolbe nr.	100 µg P/l	1000 µgN/l
1-3	x	
4-6		x
7-9	x	x

Kolbene ble tilsatt ca. 10⁶ celler/l av testalger fra kulturer som blir vedlikeholdt ved overføring til nytt vekstmedium hver uke. Podematerialet ble tatt fra kulturer i stasjonær fase (1-2 uker etter ompodning). Som vekstmedium i podekulturen ble det benyttet 10% Z8 i naturlig sjøvann. Podekulturen ble inkubert på et gyngbord med kontinuerlig belysning ved 20 °C, de samme betingelsene som ble benyttet ved vekstpotensiemålingene.

Etter poding ble kulturene inkubert på gyngbordet. Etter 6 dager ble det gjort målinger av celle tettheten i kulturen frem til dess veksten stoppet opp. Dette skjedde som regel innen 12 døgn fra starten. Det maksimale celleutbyttet ble notert og middelverdien for de tre parallelle kulturene beregnet.

Når ingen andre næringsstoffer enn P og N er begrensende for algeproduksjonen er celleutbyttet i kolbene 1-3, hvor P er tilsatt bestemt av mengden tilgjengelig N i prøven. På samme måte bestemmes utbyttet i kolbene 4-6 av mengden tilgjengelig P. Kolbene 7-9 tjener som kontroller som viser om andre næringsstoffer enn P og N har påvirket utbyttet eller om prøven har inneholdt stoffer med giftvirkning på algene. Dersom celleutbyttet i kolbene 7-9 er høyere enn i noen av de øvrige viser det at andre næringssalter ikke har vært begrensende og at biologisk tilgjengelig N og P kan beregnes fra celleutbyttet i kolbene 1-3 resp. 4-6.

Metoden for beregning av biologisk tilgjengelig N og P ble kalibrert mot uorganisk fosfat og nitrat i form av KH₂PO₄ og NaNO₃. Kalibreringen ble gjort ved å utføre vekstpotensiemålingene som beskrevet ovenfor i næringsfattig fortynningsvann tilsatt ulike konsentrasjoner av nitrat og fosfat. Resultatene viste et lineært forhold mellom celleutbytte og P og mellom celleutbytte og N. Omregningsfaktorer for beregning av biologisk tilgjengelig N og P fra celleutbytte ble regnet frem ved lineær reduksjon av celleutbytte mot nitrat-N resp. fosfat P. (Braaten et al. 1992).

3.3 Metaller i slam og elutriat

Fremstillingen av elutriat for metallanalyser ble gjort etter en standardisert prosedyre (EPA). 1 del av dicy-kalken ble tilsatt 4 deler sjøvann og ristet på gyngebord i to timer. Suspensjonen ble sentrifugert og filtrert gjennom Whatman GF/F-filter. Filtratet ble analysert for innhold av metallene Zn, Cd, Pb, Cu, Ni og V. Analysene ble gjort med atomabsorpsjon. Metallinnholdet ble også analysert i tørr dicy-kalk etter oppslutning med salpetersyre.

3.4 Oksygenforbruk

Oksygenforbruk i dicy-kalk ble undersøkt ved å måle oksygenkonsentrasjonen over tid i sjøvann i lukkede flasker tilsatt 1 g/l, 10 g/l og 100 g/l av dicy-kalk. Ved de to høyeste konsentrasjonene ble målingene utført med oksygenelektroder koplet til en datalogger. Testen med 1 g/l ble gjort i Hach respirometre, hvor oksygenkonsentrasjonen ble målt etter 2, 7, 15 og 29 døgn.

3.5 Toksisitetstester

Av de tre prøvene ble det fremstilt et vannekstrakt (elutriat) ved å blande én del av det faste avfallet med 4 deler sjøvann. Blandingen ble ristet 2 timer på et ristebord og ble deretter sentrifugert og filtrert gjennom glassfiberfilter (Whatman GF/F) for å fjerne partikkelfraksjonen. pH-verdien i de filtrerte vannprøvene (elutriatene) ble justert til ca. pH 8 som er normal pH-verdi i sjøvann ved tilsetning av NaOH eller HCl. Følgende pH-verdier ble målt før og etter nøytralisering:

Prøve	pH før justering	pH etter justering
Dicy-kalk	8.4	8.4
Venturislam	9.3	7.9

Toksisitetstene ble utført med den marine algen *Skeletonema costatum*, som er en vanlig planktonalge rundt kysten, med særlig stor forekomst i forbindelse med våroppblomstringen. *Skeletonema* er mye brukt som testorganisme ved toksisitetstester, bl.a. i den internasjonale standarden for tester med marine alger (ISO/DIS 10253).

Elutriatprøvene ble tilsatt et vekstmedium for planktonalger, 10% Z8 (Källqvist 1984) og blandet med rent sjøvann tilsatt samme vekstmedium til ulike elutriatkonsentrasjoner fra 10-100%. De ulike prøvene ble podet med ca. $5 \cdot 10^6$ celler/l av *Skeletonema* og fordelt i tre parallelle kulturer i glasskolber. Som kontroll ble det satt opp 6 kulturer av testalgen i rent sjøvann+vekstmedium. Kolbene ble plassert på et gyngebord og inkubert ved 20 °C under kontinuerlig belysning fra lysstoffrør.

Veksten i kulturene ble fulgt ved telling av algene etter 24 og 48 timer. På grunnlag av økningen i celletetthet ble veksthastigheten i hver kultur beregnet. Veksthastigheten ble regnet om til prosent av veksthastigheten i kontrollkulturene, slik at 100% veksthastighet tilsvarer veksthastigheten i kontrollene (ingen gifteffekt) og verdier lavere enn 100% indikerer veksthemming som følge av gifteffekt.

4. Resultat

4.1 Tilgjengelighet av nitrogen

De kjemiske analysene av suspensjonen av 0.1 g dicy-kalk/l viste at kalken bidro med 640 µg tot. N/l. Analyse utført på tørr dicy-kalk fra Odda Smelteverk viste et N-innhold på 0.94 %. Det betyr at totalkonsentrasjonen i vann etter tilsetning av 0.1g dicy-kalk/l skulle bli 940 µgN/l, som er omtrent 1.5 ggr. høyere enn tot.N-analysen av den ufiltrerte vannprøven viste. Årsaken til dette er at oppslutningsprosedyren ved tot.N-analysen ikke gir fullstendig oksydasjon av alle nitrogenforbindelser i prøver med høyt innhold av partikulært bundet nitrogen. Innholdet av ulike N-fraksjoner er derfor i det følgende angitt som % av det beregnede totalinnholdet av N (940 µg/l). I den filtrerte prøven var konsentrasjonen 315 µg/l. Ca. 1/3 av nitrogenet forelå altså som løste forbindelser. Av den løste fraksjonen ble ca. 10% (30 µg/l) bestemt som ammonium og ca. 2% (7 µg/l) som nitrat. Den biologisk tilgjengelige nitrogenfraksjonen beregnet fra vekstpotensialmålingene var 80 µg/l, som er 8.5 % av nitrogenet i dicy-kalken og 13% av tot.N. Innholdet av de ulike nitrogenfraksjonene som µg/g dicy-kalk er fremstilt i fig. 1. I figuren er fraksjonen som ikke kom med i tot.N-analysen angitt som "bundet N".

Fosforinnholdet i suspensjonen var lavt. Bidraget fra dicy-kalken var 6 µg/l, halvparten i løst form og ca. 1 µg/l som fosfat. Den biologisk tilgjengelige fraksjonen var lik fosfatkonsentrasjonen, d.v.s. ca. 1 µg/l eller 17% av tot. P. Innholdet av de ulike fosfor-fraksjonene som µg/g dicy-kalk er vist i figur 2.

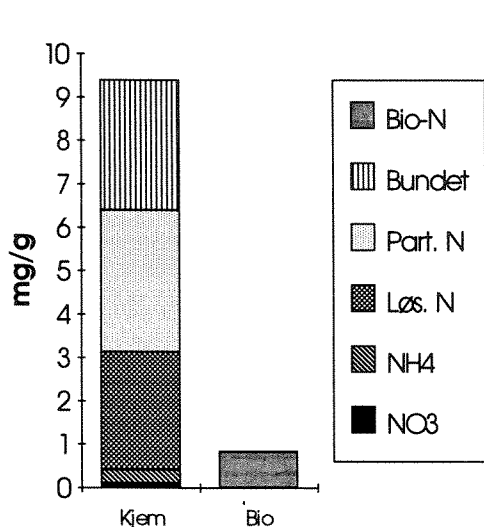


Fig. 1. Kjemiske fraksjoner av N og biologisk tilgjengelig N i dicy-kalk (mg/g)

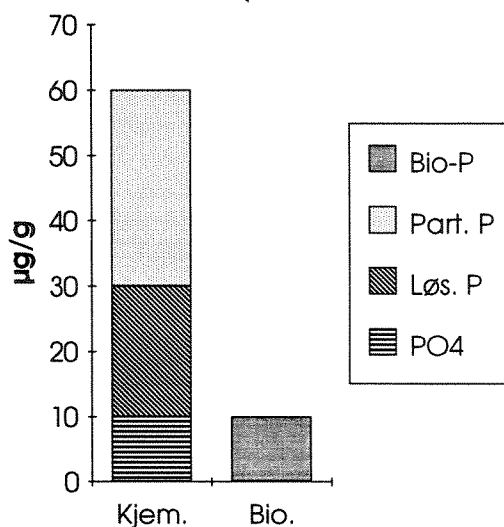


Fig. 2. Kjemiske fraksjoner av P og biologisk tilgjengelig P i dicy-kalk (µg/g)

4.2 Metaller i elutriat

Analyseresultatene fra elutriatet av dicy-kalken er vist i tabell 1 sammen med konsentrasjoner målt direkte i dicy-kalken. På grunnlag av mengde dicy-kalk som er eluert (250 g i 1 l sjøvann) er også andelen av metallene som ble gjenfunnet i elutriatet beregnet. Blykonsentrasjonen i elutriatet var 350 µg/l. Det betyr at ca. 40% av dicy-kalkens blyinnhold ble løst ut i vannfasen. For de øvrige metallene

var konsentrasjonene og løseligheten meget lavere enn for bly (<1%). Årsaken til den høye løseligheten av bly i forhold til de øvrige metallene er uklar. Konsentrasjonen av bly i dicy-kalken er lav i forhold til en tidligere analyse utført av bedriften (48 mg/kg), men en reanalyse av den undersøkte prøven bekreftet den lave konsentrasjonen.

Tabell 1. Metallkonsentrasjoner i dicy-kalk og elutriat av dicy-kalk fra Odda Smelteverk

metall:	Zn	Cd	Pb	Cu	Ni	V
dicy-kalk (mg/kg)	66	0.054	3.44	28	40	45
elutriat (µg/l)	70	<1	350	14	7	39
% i elutriat	0.45	-	41	0.20	0.07	0.35

4.3 Oksygenforbruk

Oksygenforbruket i sjøvann tilsatt 10g og 100g/l av dicy-kalken er vist i figur 3. I 100 g/l sank oksygenkonsentrasjonen fra 8.2 mg/l til 5.7 mg/l på én time. I forhold til mengden dicy-kalk i prøven tilsvarer det 0.025 mg O₂ for hvert g av dicy-kalken. Oksygenforbruket skjedde gradvis langsommere etterhvert som konsentrasjonen minket. Etter ca 8.5 timer var oksygenkonsentrasjonen =0. Også i vann tilsatt 10 g dicy-kalk/l var oksygenforbruket raskest i startfasen. Figur 4 viser oksygenforløpet ved denne konsentrasjonen over ca. én uke. Oksygenforbruket pr. time sank fra ca. 0.05 mg/g den første timen til ca. 0.02 mg/g etter 4 timer, 0.014 mg/g etter 10 timer og 0.006 mg/g etter 48 timer. Det akkumulerte oksygenforbruket etter 6.5 døgn var 0.72 mg/g dicy-kalk, men kurven i fig. 4 viser at oksygenforbruket fortsatt ikke var stagnert.

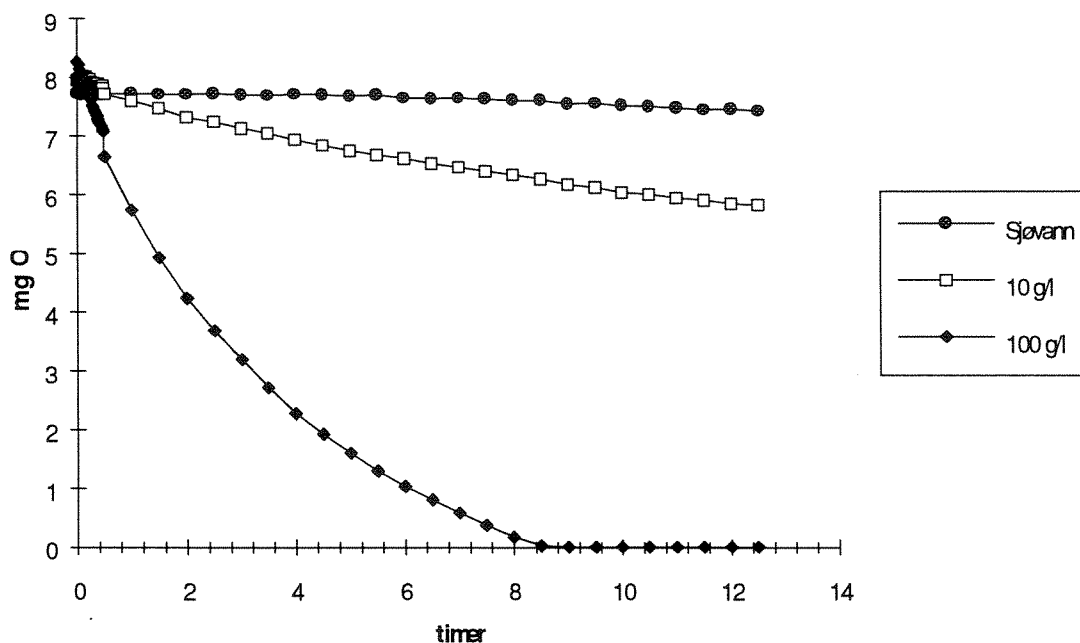


Fig. 3. Utviklingen av oksygenkonsentrasjon i sjøvann tilsatt 10g/l og 100 g/l av dicy-kalk fra Odda Smelteverk

For å kunne måle oksygenforbruket over lengre tid ble et forsøk i respirometer med konsentrasjonen 1 g dicy-kalk/l utført. Det registrerte oksygenforbruket er vist i figur 5. Forsøket viste som de tidligere at oksygenforbruket er raskest i begynnelsen for så å stabilisere seg på et mer konstant nivå over lang tid. Det totale oksygenforbruket over 29 døgn var i dette forsøket 5.3 mg/g. Siden oksygenforbruket fortsatt ikke var stagnert, vil det totale oksygenforbruket av dicy-kalken i sjøvann være større enn 5.3 mg/g.

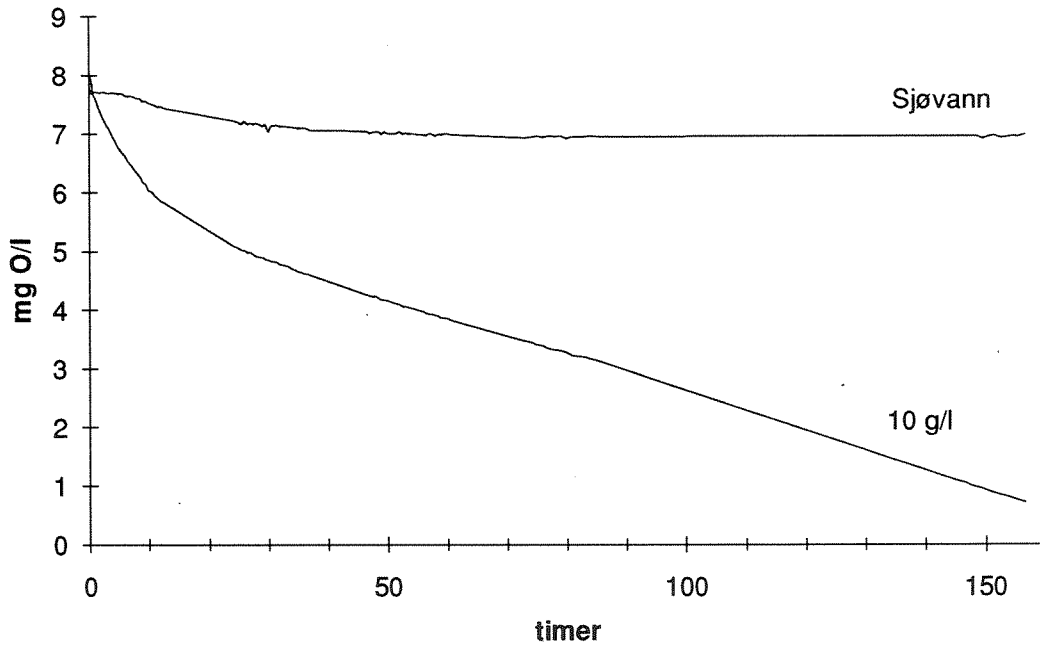


Fig. 4. Utviklingen av oksygenkonsentrasjonen i sjøvann tilsatt 10 g/l av dicy-kalk fra Odda Smelteverk.

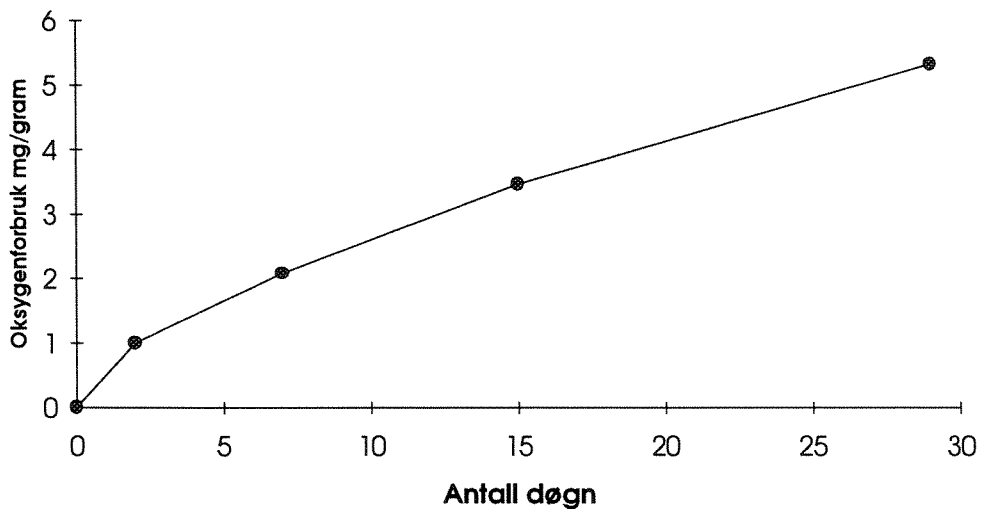


Fig. 5. Oksygenforbruk i sjøvann tilsatt 1g/l av dicy-kalk fra Odda Smelteverk

4.4 Toksisitet

Veksthastigheten av *Skeletonema costatum* ved ulike fortynninger av elutriatene er vist i figur 6 og 7. I elutriatet av dicy-kalken fra Odda Smelteverk ble det registrert full vekstinhibisjon i uforynnet elutriat og partiell veksthemming ved konsentrasjonen 56%. 10% konsentrasjon ga en svak stimulering av veksten i forhold til kontrollene.

I elutriatet av venturislam var veksthemmingen fullstendig allerede ved 10% konsentrasjon. De negative veksthastigheten som ble beregnet ved høyere konsentrasjoner skyldes at celledødeligheten økte i løpet av testen, d.v.s. at algecellene ble ødelagt. Resultatet tyder på at venturislammet avgir forholdsvis mye giftige komponenter til vannfasen.

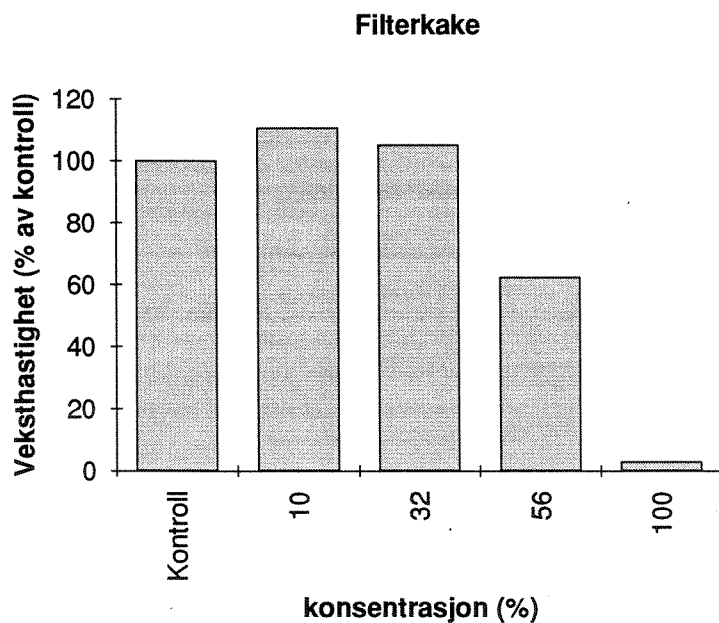


Fig. 6. Effekt av elutriat fra dicy-kalk på veksthastigheten til *Skeletonema costatum*.

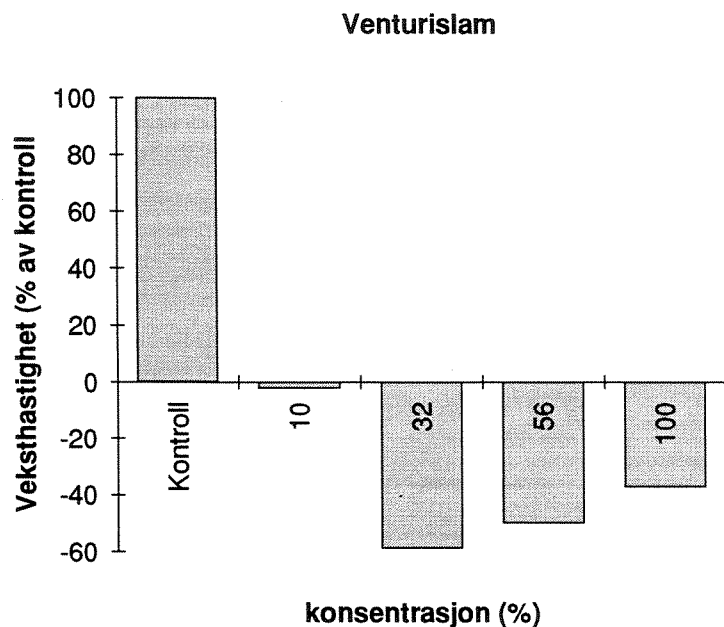


Fig. 7. Effekt av elutriat fra venturislam på veksthastigheten til *Skeletonema costatum*.

5. Kommentarer

Dicy-kalkens innhold av nitrogen er i følge vekstpotensialmålingene i liten grad tilgjengelig for alger. I forhold til nitrogeninnholdet analysert på fast prøve, kunne ca. 9% tas opp av alger i løpet av 10 døgn. Dette tyder på at nitrogenet er sterkt bundet i dicy-kalken og at det ikke skjer en rask kjemisk omvandling til tilgjengelige N-forbindelser når kalken blandes i vann. Til sammenligning kan nevnes at den biologisk tilgjengelige N-fraksjonen i kommunalt kloakkvann er målt til 80-90%. (Braaten et al. 1992).

Tungmetallene i dicy-kalken er også bundet til det partikulære materialet og utløses lite i sjøvann. Av de metaller som er undersøkt var konsentrasjonen i vannfasen høyest for bly. Ca. 40% av blyinnholdet i dicy-kalken ble gjenfunnet i vannfasen etter filtrering av et elutriat (250 g dicy-kalk i 1 l sjøvann). De konsentrasjoner av tungmetaller som ble utløst i vannet ved dette blandingsforhold er høye nok til å gi akutt giftvirkning på vannlevende organismer. Utslipp av dicy-kalk vil altså medføre en viss tungmetallforurensning. Skadevirkningene av denne vil være avhengig av hvor stort vannvolum som materialet blandes ut i. Undersøkelsen gir ikke grunnlag for å vurdere utlekking av metaller over lengre tid fra kalk som er sedimentert på bunnen.

Toksisitetstester på elutriat av fast avfall kan vise om det er fare for utlekking av giftige komponenter til vannfasen. Resultatene av de utførte testene gir dermed informasjon om potensialet for økologiske skadevirkninger ved dumping av avfallet i sjøen, selv om de ikke gir et tilstrekkelig grunnlag for å beregne omfanget av slike virkninger.

Begge de undersøkte avfallsprøvene ga giftvirkninger i vannfasen ved et blandingsforhold avfall+sjøvann=1+4, d.v.s. samme forhold som i elutriat-testen av tungmetaller. For elutriat fra dicy-kalk avtok giftvirkningen imidlertid raskt ved fortykning av vannfasen i rent sjøvann. Dette blir tolket som at dumping av dicy-kalk vil kunne gi toksiske effekter på organismelivet i bunnsedimentet, men at det er liten fare for spredning av giftige komponenter til vannfasen.

Sammenligning med tungmetallanalysene viser at giftvirkningen kan skyldes tungmetaller.

Toksisitetstestene av venturislammet viser et betydelig potensiale for giftvirkning ved dumping i sjøvann. Giftige komponenter skilles ut i vannfasen og fortynningsbehovet for å fjerne giftvirkningen er minst 10 ggr. større enn for dicy-kalken. Dumping av venturislam i sjøen bør frarådes inntil mulige konsekvenser er nøyere undersøkt.

6. Referanser

Källqvist, T. 1984: Biotetser. I: Vennerød, K. (red.) Vassdragsundersøkelser - en metodebok i limnologi. Universitetsforlaget, s. 252-267.

Braaten, B., T. Johansen, T. Källqvist og A. Pedersen 1992: Biologisk tilgjengelighet av næringssalttilførsler til det marine miljø fra fiskeoppdrett, landbruksavrenning og kommunalt avløpsvann. NIVA rapport O-89156, 124 s.

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69 Korsvoll, 0808 Oslo
Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2301-0