

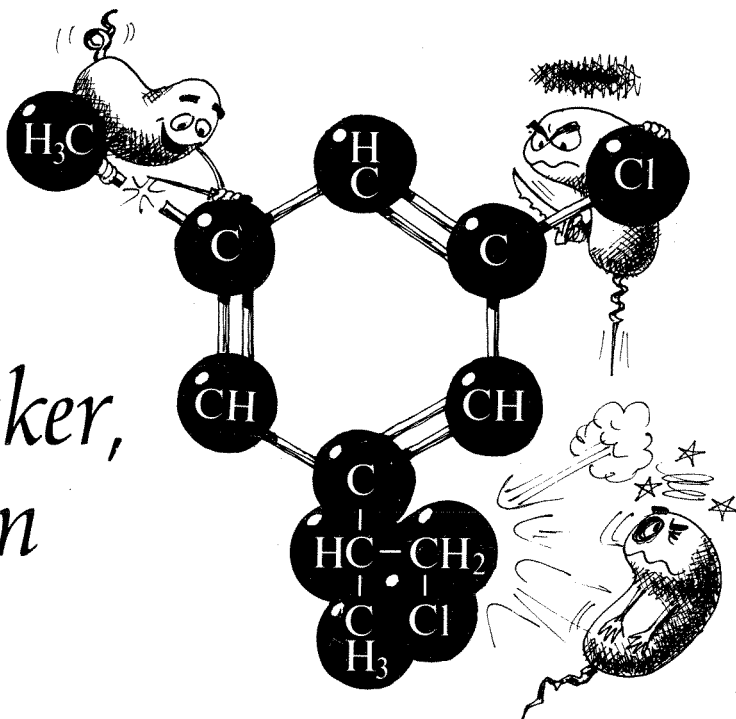
O-8400403

Testing av

POTENSIELL NEDBRYTBARHET

av

borevæsker,
boreslam
og kaks



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse:
Postboks 333, Blindern
Oslo 3

Brekke 23 52 80
Gaustadalleen 46 69 60
Kjeller 71 47 59

Rapportnummer: 0 - 84004-03
Undernummer:
Løpenummer: 1691
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Testing av potensiell nedbrytbarhet av borevæsker, boreslam og kaks	Dato: 15.11.1984
	Prosjektnummer: 0-84004.03
Forfatter(e): Kari S. Ormerod	Faggruppe:
	Geografisk område:
	Antall sider (inkl. bilag):

Oppdragsgiver: NIVAs forskningsmidler F-80419.03 SFT (rapporteringen) 0-84004.03	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt:
En oksygenopptakstest ble benyttet til vurdering av nedbrytbarheten av oljebaserte boreslam. De fleste slam kom i kategorien "langsomt nedbrytbare". Analysetekniske vanskeligheter med bestemmelse av testkonsentrasjonen av olje, førte til en anbefaling av at basisoljen testes separat dersom dennes nedbrytbarhet er av spesiell interesse. Slammets totale oksygenforbruk lar seg imidlertid karakterisere ved direkte testing, og har betydning for risikovurdering i forbindelse med utvikling av sulfat-reducerende bakterier og tilhørende korrosjonsproblemer.

4 emneord, norske:
1. nedbrytbarhet
2. boreslam
3. oljeboring
4.

4 emneord, engelske:
1. biodegradability
2. drilling mud
3. oil drilling
4.

Prosjektleder:

Kari Ormerod

Seksjonsleder:

Rolf Tore Lunde

For administrasjonen:

J. E. Sandnes
Kari Ormerod

ISBN 82-577-0870-4

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

O-84004.03

TESTING AV
POTENSIELL NEDBRYTBARHET
AV BOREVÆSKER, BORESLAM OG KAKS

Oslo, 15. november 1984

Saksbehandler: Kari S. Ormerod

Medarbeider: Harry Efraimsen

For admini- J.E. Sandal

strasjonen: Lars N. Overrein

SAMMENDRAG OG KONKLUSJON

Prøver av ubrukt og brukt boreslam og borekaks som inngikk i SFTs prøveprosjekt for giftighetstesting i 1983, er blitt testet for nedbrytbarhet ved NIVA. Dette ble gjort for å vinne erfaring med slik testing av lite vannløselige stoffer. Prøvenes eksakte innhold av organisk stoff var ukjent, og kombinert med at prøvene hadde liten løselighet i vann, skapte dette også problemer for vurderingen av nedbrytbarheten. Et nytt system for generell vurdering av respirometriske nedbrytningsdata ble utarbeidet. Dette system er benyttet til vurdering av nedbrytbarheten av det organiske stoff i prøvene. Denne vurderingen kunne utføres kun for de prøver der innholdet av organisk stoff kunne beregnes ut fra oppgitte data eller fra gløderest-analyser (borekaks). De fleste av prøvene kom i kategorien "langsomt nedbrytbart stoff". Noen lå nær grensen til lett nedbrytbarhet, andre lå under grensen for langsomt nedbrytbart og måtte anbefales testet i OECDs 2. nivå tester, for "Inherent biodegradability".

På grunn av at boreslammene inneholdt andre typer organisk stoff enn basisoljen, og også inneholdt nitrogenforbindelser, ga ikke testen en karakteristikk av basisoljens nedbrytbarhet. Den ga imidlertid en karakteristikk av boreslammets totale oksygenforbruk i testperioden. Sistnevnte kan med fordel benyttes til vurdering av risiko for oksygensvinn i et eventuelt dumpingsområde. Ved oksygensvinn kan sulfatreduserende bakterier utvikles, og resultere i korrosjonsproblemer på stål- og betongkonstruksjoner, forringelse av oljekvalitet under lagring på sjøvann, og dannelselse av gass som er giftig for sjødyr og mennesker.

Ønskes opplysninger om basisoljens nedbrytbarhet, bør denne testes separat, og ved to temperaturer, den ene optimal (20°C) og den andre relevant for en sjøresipient ($5-10^{\circ}\text{C}$).

I N N H O L D S F O R T E G N E L S E

<u>Seksjon</u>	<u>Side</u>
1. INNLEDNING	3
2. ANALYSEMETODE	4
2.1 Prinsipp	4
2.2 Testmedium	4
2.3 Testprøve	4
2.3.1 Beregning av oljeinnhold i ubrukt og brukt boreslam	4
2.3.2 Beregning av oljeinnholdet i kaksprøvene	5
2.4 Podemateriale	7
2.4.1 Preparering av podematerialet	7
2.4.2 Kontroll av podematerialet	7
2.5 Nedbrytbarhetstest	8
2.6 Vurdering av testdata	8
2.7 Karakterisering av nedbrytningsforløpet	9
3. RESULTATER	12
3.1 Datapresentasjon	12
3.2 Vurdering av resultatene	13
4. FORSLAG TIL FREMTIDIG TESTOPPLEGG	18
4.1 Nedbrytbarhetstest	19
4.2 Risiko for dannelse av dihydrogensulfid	20
LITTERATUR	22
BILAG	23

1. INNLEDNING

I 1983 deltok NIVA i SFTs prøveprosjekt for giftighetstesting av boreslam og -kaks, ved en gifttest med bakterier som testorganisme. Både vannbasert og oljebasert boreslam ble testet. De fleste testprøver var imidlertid boreslam med lavaromatiske basisoljer. Kaks fra dieselbaserte boreslam har vist seg å ha giftvirkning i nærområdet rundt plattformer der kaksen blir dumpet. Derfor ønsket man å komme frem til boreslam med mindre giftighet, som igjen resulterer i mindre giftvirkning av kaksen som dumpes. Det er også viktig at oljen i den dumpede kaksen nedbrytes raskt, slik at ikke eventuelle giftige, organiske stoffer forblir i giftig konsentrasjonsnivå i lang tid i det aktuelle dumpingsområdet. Stoffer som har veksthemmende effekt på nedbrytende mikroorganismer kan også føre til at ellers lett nedbrytbart organisk stoff ikke nedbrytes. Derfor ble en gifttest med bakterier inkludert blant gifttestene i prøveprogrammet.

Etter vår bedømmelse ville det vært vel så viktig å inkludere en nedbrytbarhetstest i prøveprosjektet. Av forskjellige grunner ble dette ikke gjort, bl.a. fordi det ennå ikke er beskrevet internasjonale metodeforslag for testing av flyktige stoffer og stoffer med liten vannløselighet, og spesielt ikke for testprøver med ukjent innhold av organisk stoff. Siden NIVA har lang erfaring med utførelsen av nedbrytbarhetstester og dessuten deltar i det internasjonale standardiseringsarbeid for nedbrytbarhetstester (ISO, OECD), besluttet vi å utprøve et testopplegg for slike stoffer. Dette ble gjort i samband med prepareringen av podemateriale og testprøver til gifttesten. Gifttesten med bakterier og nedbrytbarhetstesten er derfor utført på identiske testprøver, slik at resultatene kan sammenlignes.

2. ANALYSEMETODE

Den benyttede testmetode skisseres i det etterfølgende.

2.1 Prinsipp

Oksygenopptakstest i respirometer, samme type test som OECDs "MITI TEST". Utført i HACHs manometriske BOD-apparatur. Total testtid 28 døgn ved 20 °C.

2.2 Testmedium

Syntetisk sjøvann (1) tilsatt ekstra nitrat og fosfat, til samme konsentrasjon som vanlig for nedbrytbarhetstesting i ferskvannsmedium (2, 3).

2.3 Testprøve

Testprøvene ble direkte innveid i testflaskene. Medium og podemateriale ble tilsatt etterpå. Det ble tilstrebet å teste alle stoffene ved samme konsentrasjon, med mindre det var spesielle grunner for å benytte andre testkonsentrasjoner. For stoffer med høyt oksygenforbruk pr. g stoff kan det være nødvendig å redusere testvolumet i flasken. Vanskeligheten med å veie ut meget små mengder av disse typer testprøver gjorde at konsentrasjonen i slike tilfeller måtte økes til mer enn 0,5 - 0,6 g/l, som ble benyttet for de fleste prøvene. 1,0 g/l som ble benyttet i begynnelsen viste seg å være for mye teststoff for det tilgjengelige oksygen i testflaskene.

2.3.1 Beregning av oljeinnhold i ubrukt og brukt boreslam

Hovedkomponenten av organisk stoff i oljebaserte boreslam, er basisoljen. Foruten denne blir slammet tilsatt andre organiske stoffer, som emulgatorer, asfalt og inerte hydrokarbon polymere stoffer. Slammets egenvekt blir regulert med f.eks. baryumsulfat. I de fleste tilfeller ble prøver av boreslam vedlagt informasjonsblad, der sammensetningen var oppgitt i form av handelsnavn på de ingredienser som inngikk. I noen få tilfeller var informasjonen så detaljert at det lot seg fastlegge at også emulgatorer og andre tilsetningsstoffer av uspesifisert

funksjon inneholdt organiske stoffer og nitrogenforbindelser som kan gi opphav til oksygenforbruk. Hovedmengden av det organiske stoff var imidlertid alltid basisoljen. Hvis det ikke var spesifisert i følgepapirene at noen av stoffene utenom basisoljen også var olje, ble innholdet av organisk stoff beregnet bare på grunnlag av de oppgitte data for basisolje i slammet. Egenvekten av oljen ble satt lik 0,8 g/ml, basert på oppgitte verdier for noen få typer oljer. Disse beregnede data er vist i tabell 2 side (5), og er bakgrunn for beregning av det teoretiske oksygenforbruk, T-BOD, også presentert i tabell 2. Siden den kjemiske formel for basisoljen ikke var gitt, ble omregningsfaktoren fra mengde olje til teoretisk oksygenforbruk ved fullstendig forbrenning satt lik 3,2 g oksygen/g olje.

Denne faktoren er en valgt verdi mellom tilsvarende for aromatiske hydrokarboner på ca. 3,0, og alifatiske hydrokarboner på ca. 3,45 g/g olje.

Hvis for få opplysninger var gitt til at oljeinnholdet kunne beregnes, ble dette anslått etter beste skjønn, basert på de foreliggende opplysninger og de beregnede data i tabell 2. De anslåtte verdier er i tabell 2 angitt med A foran tallet.

2.3.2 Beregning av oljeinnholdet i kaksprøvene

Kaksprøvene inneholdt små og store fragmenter av stein. Vekten av disse steinfragmentene utgjorde en stor andel av testporsjonens totale vekt, og nedbrytningsresultatene ville bli sterkt influert av steininnholdet i kaksprøven. Nedbrytningen av det organiske stoff i

Tabell 1. Glødetap og beregnet oljeinnhold i kaksprøver

Kaks-kode	Glødetap mg/g våtvekt	Beregnet oljeinnhold mg/g våtvekt
C1	280	224
C2	210	168
C3	450	360
C4	160	128
C5	290	232
C6	190	152

Tabell 2. Oppgitte og beregnede karakteristika for testprøvene.

Kode, serie	Oppgitte verdier		Testprøve- konsentrasj. i testløsn. mg/l	Oljeinnhold (A: anslått verdi)		T-BOD i testløsningen	
	Olje/vann (B: be- regnet)	Egen- vekt g/cm ³		I test- prøven %	I test- løsn. mg/l	mg/l	log ₂ - verdi
F 1	85/15	1,08	1000	A 53	530	1696	10,73
F 2	85/15	1,86	1000	A 31	310	992	9,95
F 3	85/15	1,56	1000	38	380	1231	10,27
F 4	80/20	1,82		26			
F 5	83/17	1,20	500	47	235	752	9,55
F 6	B 88/12	1,56	500	38	190	608	9,25
F 7	80/20	1,44	500	40	200	640	9,32
F 8	70/30	B 1,46	500	29	145	464	8,86
F 9	85/15	1,08	500	A 53	265	848	9,73
F 10	70/30	1,20	500	35	175	560	9,13
F 11	80/20	1,20	500	47	235	752	9,55
F 12	70/30	1,45	500	29	145	464	8,86
F 13	80/20	1,57	640	A 36	230	736	9,53
F 14	70/30	1,56	640	A 27	173	554	9,11
F 15	90/10	1,39	640	A 43	275	880	9,78
M 2A	85/15	1,56	1000	A 38	380	1231	10,27
M 2B	"	"	500	"	190	608	9,25
M 7	B 90/10	B 1,57	640	29	186	594	9,21
M 9	B 87/13		640	76	486	1555	10,60
M 12			640	59	378	1208	10,20
M 13		-	640	59	378	1208	10,20
C 1A	-	-	640		143	458	8,84
C 1B	-	-	820	22,4	184	588	9,20
C 2	-	-	2050	16,8	344	1100	10
C 3			500	36	180	576	9,17
C 4A			1270		163	522	9,03
C 4B			819	12,8	105	336	8,39
C 5A			637		148	474	8,89
C 5B			820	23,2	190	608	9,25
C 6A			995		151	483	8,92
C 6B			820	15,2	125	400	8,64

testprøven ville derfor bedre la seg relatere til prøvens innhold av "glødetap". Da man ikke ville kunne bestemme tørrstoffinnholdet i disse prøvene uten at noe av oljen fordampet, ble "glødetap" bestemt ved forsiktig å tørke en veid porsjon testprøve ("våtvekt") ved 105 °C for deretter å gløde den ved 550 °C til konstant vekt. Differansen mellom våtvekten og den slik bestemte gløderest, blir angitt som glødetap. Hovedmengden av organisk stoff i kaksen er olje, men kaksen inneholder også noe vann, som vil utgjøre en del av glødetapet. Fra tabell 1 kan det ses at forholdet mellom olje og vann i de forskjellige boreslam varierer mellom 90/10 og 70/30 for olje/vann, med de fleste i nærheten av 80/20. For beregning av T-BOD i kaksprøvene er oljeandelen av glødetapet generelt regnet som 80 %. Glødetap og beregnet oljeinnhold er presentert i tabell 1.

2.4 Podemateriale

2.4.1 Preparering av podematerialet

Erfaringsmessig inneholder kommunalt kloakkvann en meget rik blanding av nedbrytende bakterier, og er derfor optimalt podemateriale for nedbrytbarhetstester. Her er det imidlertid tale om nedbrytning i sjøvannsresipient. Mange bakterietyper arbeider like godt i sjøvann som i ferskvann, men akklimatisering til sjøvann bør være gjort før de brukes som podemateriale i testen. Podematerialet ble derfor tilvendt til sjøvann (1); dvs. samme podemateriale som det benyttede slam i bakterie-gifttesten (metodebeskrivelse for TTC-test vedlagt testresultatene, sendt SFT). Ulempen ved slik tilvenning er at man får seleksjon av de bakterier som vokser fort i syntetisk sjøvannskloakk. For å sikre både rask start ved de bakterier som er tilvendt sjøvannsmiljø, og tilstedeværelse av mange forskjellige typer bakterier, ble podematerialet tilsatt som en blanding av TTC-testlam og vanlig BOD-podemateriale (4).s

2.4.2 Kontroll av podematerialet

Som kontroll på at podematerialet inneholdt nedbrytningsbakterier med normal aktivitet, ble det for hver nylaget porsjon kjørt en kontrolltest i sjøvannsmedium tilsatt de lett nedbrytbare stoffer glucose og glutaminsyre. Disse stoffene er standard organisk stoff i NIVAs nedbrytningstest i ferskvannsmiljø og i kontrolltest for podemateriale

i BOD-analyser (4).

2.5 Nedbrytbarhetstest

Den benyttede metode er en variant av OECDs test for "Ready Biodegradability: Modified MITI test (2), 30°C". Den ble utført i HACH manometrisk respirometer-apparatur. Testtiden var 28 døgn ved 20 °C. Oksygenopptaket, BOD, ble avlest flere ganger i løpet av testtiden, som mg/L, slik at oksygenopptakskurvene kan konstrueres.

Stoffer som er lett nedbrytbare (ready biodegradable), nedbrytes av mange slags bakterier. Hvis stoffet ikke hemmer de nedbrytende bakterier i den testede konsentrasjon, vil oksygenopptaket være målbart allerede etter 1 døgn.

Stoffer som er lett nedbrytbare for noen få typer bakterier, vil vise høyt oksygenopptak pr. tidsenhet når nedbrytningen starter, men det kan ta tid før nedbrytningen kommer igang. Denne tiden kalles lag-perioden. Når stoffet kun angripes av få typer bakterier som forekommer i lav konsentrasjon i podematerialet, vil det ta tid før de øker nok i antall til at vi kan måle deres oksygenopptak. Lag-perioden kan også skyldes at teststoffet har hemmende effekt på de nedbrytende bakteriene, slik at de må finne måter å omgå denne effekt før de kan angripe stoffet (adaptasjon).

Stoffer som nedbrytes langsomt vil ofte også vise lang lag-fase. Dette kan skyldes at nedbrytningshastigheten er så langsom at vi ikke kan registrere oksygenopptaket de første dagene etter at nedbrytningen er startet. Grunnen kan imidlertid også være den samme som nevnt for lett nedbrytbare stoffer.

Noen stoffer nedbrytes bare delvis. Dette viser seg ved stagnasjon i oksygenopptaket før forventet oksygenopptak er oppnådd. Andre stoffer kan nedbrytes delvis eller trinnvis, slik at nedbrytningen stagnerer midlertidig for deretter å starte igjen. Dette gir seg utslag i oksygenopptakskurver som går i "bølger".

2.6 Vurdering av testdata

I OECDs testsystem forutsettes at teststoffets kjemiske formel er kjent, slik at dets teoretiske oksygenforbruk, T-BOD, kan beregnes. Kriteriene for bedømmelse av "lett nedbrytbarhet" er under diskusjon i arbeidsgruppen som har ansvar for disse testene i EEC- og OECD-

samarbeidet. For denne respirasjonstesten er det siste forslag til kriterium at 60 % av T-BOD skal være oppnådd innen det tiende døgn fra nedbrytningen starter. Stoffer som viser lavere oksygenopptakshastighet blir karakterisert som langsomt nedbrytbare. Stoffer som ikke passerer 20 % av T-BOD innen testtiden på 28 døgn skal gå videre til testing for "inherent biodegradability". Det samme gjelder for stoffer hvis nedbrytning stagnerer før 60 % av T-BOD er oppnådd, og analyse for innhold av organisk karbon viser at en betydelig del av teststoffet fremdeles er til stede etter endt testtid.

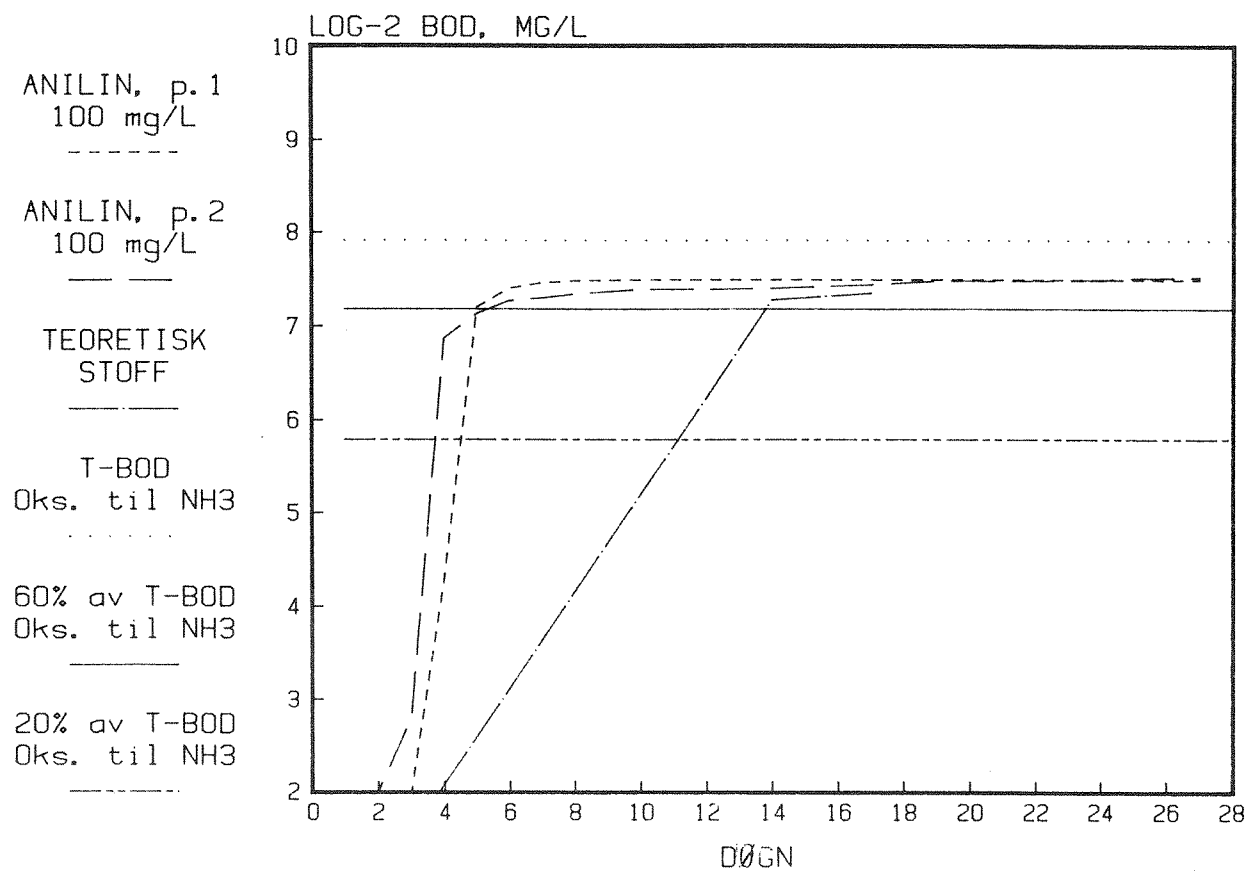
2.7 Karakterisering av nedbrytningsforløpet

Fordi oksygenopptakskurvene kan ha forskjellig form, som nevnt i det foregående, kan det være ønskelig å finne fram til et system for nærmere karakterisering av nedbrytningsforløpet. Oksygenopptakshastigheten er avhengig av antall aktive bakterier i testløsningen. Ved lang lag-fase og langsom starthastighet kan det bli vanskelig å fastsette starttidspunktet for nedbrytningen. De 10 døgn nedbrytning som kriteriet "lett nedbrytbart" baseres på, er avhengig av dette tidspunkt. Ved å uttrykke oksygenopptaket som antall fordoblinger av oksygenopptaket i stedet for som mg/L BOD, blir det lettere både å fastsette nøyaktig tidspunkt for start, og å karakterisere nedbrytningskurven. Dette er vist for anilin i figur 1.

I denne testen for anilin stoppet oksygenopptaket kort etter at 60 % grensen var nådd. Dette er typisk forløp når protozoer ikke er tilstede ved testtidens slutt. For anilin kan oksygenopptaket også fortsette fordi bakterier oksyderer nedbrytningsproduktet ammonium til nitrat.

Anilin er et lett nedbrytbart stoff som imidlertid har konsentrasjonsavhengig, hemmende effekt på podematerialet. Ved testkonsentrasjoner på 100 mg/L pleier nedbrytningen å starte fra midten til slutten av første testuke, avhengig av kilden til podematerialet. Nedbrytningen av 100 mg/L anilin tar vanligvis mellom ett og to døgn. Antallet fordoblinger pr. døgn er da i gjennomsnitt 6-7. Ved stagnasjon uten protozoer til stede er fordoblingshastigheten 0,02 pr. døgn eller mindre, eller minst 50 døgn pr. fordobling. Med protozoer tilstede kan man ha stagnasjon selv ved 0,05 pr. døgn (20 døgn pr. fordobling). Ved nitrifikasjon etter endt nedbrytning er fordoblingshastigheten vanligvis større enn 0,05 pr. døgn. Dette har vist seg å gjelde også for andre stoffer enn anilin, men anilin blir brukt som illustrasjon. For å utelukke tilfeldige variasjoner i oksygenopptaket ved teststart, defineres startpunktet for signifikant nedbrytning som

Fig. 1. Oksygenopptakskurver for anilin og et teoretisk stoff.



det døgn oksygenopptaket passerer 16 mg/L, eller 4 fordoblinger. Ti døgn senere skal 60 % av T-BOD være passert for at stoffet skal karakteriseres som lett nedbrytbart. Et stoff med samme T-BOD som anilin må i løpet av de ti første nedbrytningsdøgn ha en gjennomsnittlig fordoblingshastighet på minimum 0,32 pr. døgn for å tilfredsstille dette krav. En slik kurve er illustrert på figur 1.

Følgende parametre kan nå benyttes til å karakterisere nedbrytningsforløp og -grad:

T_1 : Lag-perioden, som forteller om stoffet lett angripes av bakterier

D_{0-10} : Middelerdien av fordoblingshastigheten de første 10 døgn etter nedbrytningsstart, for avgjørelse av "lett eller langsom" nedbrytbarhet.

D_{0-2} : Middelerdien for de to første nedbrytningsdøgn. Gir opplysninger om grad av lett nedbrytbarhet, inkludert høyt oksygenforbruk pr. tidsenhet.

D_{10-12} : Middelerdi for nedbrytningsdøgn 10-12. Gir opplysning om stagnasjon eller fortsatt nedbrytning.

D_{21-23} : Middelerdi for nedbrytningsdøgn 21 til 23. Kan gi opplysning om "bølger" i oksygenopptakskurven som nevnt under 2.7, f.eks. på grunn av nitrifikasjon eller stegvis nedbrytning.

I tillegg kommer kontroll av om langsomt nedbrytbare stoffer har passert 20 % av T-BOD etter endt testtid på 28 døgn.

Dette karakteriseringssystem er benyttet i bedømmelsen av nedbrytbarheten av ubrukt og brukt boreslam og av borekaks.

3. RESULTATER

3.1 Datapresentasjon

Oksygenopptakskurver, presentert som BOD i mg pr. g teststoff mot tid, er vedlagt som figur 2 til 10.

Log₂-transformerte oksygenopptakskurver, basert på BOD som mg/L testløsning, er vist i figurene 11 til 20. Log₂-transformasjon resulterer i at ordinataksens enhet blir "Antall fordoblinger". Annen log-transformering, f.eks. log₁₀ eller ln, kan også benyttes, men ordinatverdien kan ikke da direkte angis som antall fordoblinger. Oksygenopptakskurvene er vedlagt som bilag.

Karakterisering av de log₂-transformerte oksygenopptakskurvene er utført som beskrevet under pkt. 2.7. Disse karakteriseringsdata er angitt i tabell 3 og 4.

For M-prøvene (brukt boreslam) forelå kun i få tilfeller opplysninger som gjorde det mulig å beregne slammets oljeinnhold. Kun de M-prøver der oljeinnholdet lot seg beregne er medtatt i tabell 2 og 3, men oksygenopptakskurver for alle de testede prøver er medtatt i figurserien fig. 2 til 10.

På de log-transformerte kurvene er verdiene for 60 % av T-BOD for både 100 mg/L og den virkelige konsentrasjon av olje medtatt, samt verdien for 20 % av T-BOD for den tilsatte mengde olje. Nedbrytningsforløpet kan da vurderes både i forhold til hva som forventes for den nylig foreslåtte standard testkonsentrasjon på 100 mg/L, og til hva som forventes på basis av virkelig tilsatt mengde. Standard konsentrasjonen 100 mg/L ble fastsatt etter at disse prøvene ble testet. Det er ikke alltid mulig å veie ut så små mengder av et teststoff at konsentrasjonen i testløsningen blir 100 mg/L. For mye teststoff i løsningen kan føre til at nedbrytningsforløpet forskyves mot forgjæring på grunn av oksygensvikt. Teststoffet kan også være giftig for de nedbrytende bakteriene, slik at økende mengde fører til økende lag-periode før nedbrytningen starter, og nedbrytningen kan da også gå langsommere.

I tabellene 3 og 4 er resultatene vurdert både i forhold til systemet for standard testkonsentrasjon 100 mg/L, og i forhold til forventet

teoretisk oksygenforbruk for den tilsatte mengde teststoff. Oppnådd oksygenforbruk etter 21 nedbrytningsdøgn, BOD_{21} , er benyttet i sistnevnte vurdering. Ved mer enn 7 døgns lag-periode oppnås ikke 21 nedbrytningsdøgn ved en total testtid på 28 døgn, og BOD_{21} oppgis som "større enn" den verdi som er oppnådd den siste dag av testtiden. Den høyeste oppnådde verdi anses som teststoffets potensielle nedbrytbarhet ved den benyttede testkonsentrasjon.

Stor forskjell mellom parallellene tyder på at nedbrytningen er svært avhengig av ytre forhold, som antall bakterier i stand til å nedbryte oljen, testprøvens løselighet i vann, i hvilken grad den er dispergert eller ligger i klumper, etc. Den potensielle nedbrytbarhet vil imidlertid være minst så bra som den funne maksimumsverdi for testprøven.

En kort beskrivelse av nedbrytbarheten av de testprøvene som er medtatt i tabell 2 er gitt i det etterfølgende.

3.2 Vurdering av resultatene

F 1-83 Prøven inneholdt lett nedbrytbart stoff, men nedbrytningen
Fig. 2 stagnerte i første uke etter nedbrytningsstart, og nådde ikke
og 11 20 % av forventet T-BOD innen testtidens slutt. Testkonsentrasjonen var imidlertid mye høyere enn standardkonsentrasjonen på 100 mg/L. Før prøven gis karakteristikk "lite nedbrytbar" bør den testes om igjen i lavere konsentrasjon. Lavere konsentrasjon kan medføre at nedbrytningen ikke stagnerer.

F 2-83 Prøvens nedbrytningsforløp så ut til å være hastighets-
Fig. 2 begrenset, antagelig på grunn av lav løselighet i testmediet.
og 12 20 % grensen for T-BOD tilsvarende 100 mg/L teststoffkonsentrasjon ble passert, men ikke 20 % grensen for tilsatt mengde T-BOD. Muligheten for at stoffet kan klassifiseres som langsomt nedbrytbart ved testing i lavere konsentrasjon bør derfor undersøkes før prøven karakteriseres som "lite nedbrytbar".

F 3-83 Prøven inneholdt en del lett nedbrytbart stoff, men
Fig. 2 nedbrytningen av det resterende stoff stagnerte før endt testtid. 20 %-grensen for tilsatt mengde T-BOD ble ikke passert. Dette stoffet viste seg å ha hemmende virkning på nedbrytende bakterier i konsentrasjoner fra 3 g/L (tabell 3).

Tabell 3. Nedbrytningskarakteristika for ubrukt boreslam.

Test-prøve-kode	Konsentra-sjon av test-prøve i test-løsningen mg/L	Ned-bryt-nings-start døgn nr.	Ant. fordoblinger pr. døgn som snittverdi:				BOD ₂₁ i forhold til T-BOD av tilsatt meng-de olje, som prosent		pH-verdi ved test-tidens slutt (start 6-8)	Hemming av nedbrytende bakterier EC ₂₀ -verdi ppm
			D ₀₋₂	D ₁₀₋₁₂	D ₂₁₋₂₃	D ₀₋₁₀ (Grense 0,32)	Enkelt-verdier	Maksimum		
F1.1 F1.2	1000	4 3	1,25 1,00	0,040 0,020	0,027 0,027	0,33 0,32	12 12	12	- -	> 93 000
F2.1 F2.2	1000	5 4	0,48 0,48	0,130 0,075	0,030 0,020	0,26 0,26	17 15	17	-	> 54 000
F3.1 F3.2	1000	4 5	0,67 0,56	0,070 0,024	0,025 0,025	0,30 0,32	14 14	14	- -	3 100 EC50:30 000
F5.1 F5.2	500	21 18	0,26 0,37	- -	- -	0,26 0,21	> 10	> 10	8,1 8,2	> 156 000
F6.1 F6.2	500	5 9	0,37 0,23	0,110 0,085	0,055 (0,070)	0,17 0,15	15 11	15	8,6 8,7	> 120 000
F7.1 F7.2	500	3 3	1,26 0,40	0,040 0,060	0,045 0,035	0,36 0,16	35 14	35	8,5 8,1	> 100 000
F8.1 F8.2	500	9 14	0,31 0,25	0,080 0,115	0,05 -	0,18 0,15	18 14	18	8,5 8,6	> 120 000
F9.1 F9.2	500	5 5	0,59 1,25	0,070 0,097	0,015 0,015	0,21 0,36	15 41	41	8,0 8,1	> 60 000
F10.1 F10.2	500	2 2	0,67 1,00	0,080 0,065	0,034 0,040	0,26 0,31	26 35	35	7,9 8,9	> 100 000
F11.1 F11.2	500	4 5	0,71 0,59	0,100 0,107	0,037 0,040	0,23 0,23	17 18	18	7,9 7,7	> 100 000
F12.1 F12.2	500	4 3	0,67 0,83	0,093 0,050	0,063 0,000	0,24 0,27	26 29	27	8,0 8,5	> 100 000
F13.1 F13.2	640	3 2	0,77 1,00	0,083 0,000	0,030 0,020	0,24 0,25	13 15	15	7,5	> 100 000
F14.1 F14.2	640	4 3	0,59 0,77	0,045 0,025	0,033 0,017	0,21 0,21	15 16	16	7,7	> 100 000
F15.1 F15.2	640	3 6	0,77 0,59	0,05 0,07	0,025 0,059	0,26 0,20	17 17	17	7,7	> 100 000

Tabell 4. Nedbrytningskarakteristika for brukt boreslam og borekaks.

Test-prøve-kode	Konsentra-sjon av test-prøve i test-løsningen mg/L	Ned-bryt-nings-start døgns nr.	Ant. fordoblinger pr. døgns som snittverdi:				BOD ₂₁ i forhold til T-BOD av tilsatt mengde olje, som prosent		pH-verdi ved test-tidens slutt (start 6-8)	Hemming av nedbrytende bakterier EC ₂₀ -verdi ppm
			D ₀₋₂	D ₁₀₋₁₂	D ₂₁₋₂₃	D ₀₋₁₀ (Grense 0,32)	Enkelt-verdier	Maksimum		
M2A.1	1000	3	0,52	0,055	0,040	0,29	14		8,8	> 156 000
M2A.2		4	0,57	0,070	0,040	0,22	13	14	8,8	
M2B.1	500	11	0,13	0,130	-	0,11	> 7			
M2B.2		9	0,20	0,190	-	0,15	> 13			
M7.1	640	3	0,62	0,115	0,000	0,21	17		7,8	> 100 000
M7.2		2	0,96	0,090	0,006	0,26	21	21		
M9.1	640	2	0,88	0,090	0,020	0,26	10		7,7	> 100 000
M9.2		2	0,66	0,055	0,050	0,25	8	10		
M12.1	640	3	0,66	0,065	0,015	0,22	18		8,1	> 156 000
M12.2		12	0,09	0,130	-	0,11	> 4	18		
M13.1	640	4	0,66	0,065	0,015	0,22	6		8,2	> 156 000
M13.2		6	0,29	0,160	0,020	0,14	5	6		
CIA.1	640	2	0,67	0,220	0,022	0,23	20		7,8	> 100 000
CIA.2	640	2	0,67	0,230	0,048	0,23	30	30	7,9	
CIB	820	9	0,20	0,145	-	0,17	> 16		7,9	
C2.1	2050	3	0,50	0,060	0,045	0,15	8		8,5	> 100 000
C2.2		3	0,62	0,080	0,025	0,27	14	14	8,6	
C3.1	500	1	0,91	0,065	0,020	0,28	28		7,5	89 000 EC ₅₀ : 147 000
C3.2		3	1,12	0,100	0,030	0,31	41	41	7,6	
C4.1	1270	5	0,50	0,080	0,034	0,22	23		8,2	> 100 000
C4.2	1270	2	0,67	0,080	0,037	0,27	31	31	7,9	
C4.3	819	13	0,16	0,065	-	0,10	12		8,2	
C5.1	637	7	0,15	0,75	0,071	0,14	15		8,1	> 100 000
C5.2	637	4	0,40	0,105	0,056	0,21	23	23	8,5	
C5.3	820	8	0,20	0,50	-	0,11	8		8,1	
C6.1	995	3	0,96	0,90	0,020	0,30	44		8,3	> 100 000
C6.2	995	3	0,96	0,90	0,030	0,30	38	44	8,3	
C6.3	820	4	0,55	0,060	0,050	0,25	21		8,0	

Prøven bør testes om i lavere konsentrasjon før den klassifiseres som "lite nedbrytbar".

- F 4-83 Prøvens nedbrytningsforløp tilsvarer prøven F 3-83.
Fig. 2
- F 5-83 Nedbrytningen av denne prøven startet først i slutten av
Fig. 2 testtidens uke 2, og viste da lav nedbrytningshastighet. Den
og 13 viste ikke stagnasjon de to siste uker av testtiden.
Nedbrytbarheten bør vurderes i "Inherent biodegradability
test" (nivå 2 test i OECDs Guidelines (2)).
- F 6-83 Prøvens nedbrytningsforløp tilsvarer prøven F 2-83, men test-
Fig. 2 konsentrasjonen var ikke så høy som for F 2-83. 20 %- grensen
og 14 for tilsatt mengde T-BOD ble ikke passert. Prøven klassifi-
seres totalt som lite nedbrytbar.
- F 7-83 Prøven inneholdt lett nedbrytbart stoff, men nedbrytnings-
Fig. 3 hastigheten reduseres slik at 60 % av tilsatt T-BOD ikke blir
og 15 oppnådd. Totalt må derfor prøven karakteriseres som langsomt
nedbrytbar. Den store forskjell mellom parallellene skyldes
at parallell 2 fremdeles hadde intakte oljedråper på bunnen
av flasken ved testtidens slutt.
- F 8-83 Prøven viste lav, men konstant oksygenopptakshastighet. Dette
Fig. 4 tyder på at oksygenopptaket var hastighetsbegrenset,
og 16 sannsynligvis på grunn av liten løselighet av prøven i
testmediet. Lag-perioden varte mer enn 1 uke. 20 %- grensen
for tilsatt T-BOD ble ikke passert i løpet av testtiden.
Nedbrytbarheten av dette stoffet bør revurderes i nivå 2
testsistem.
- F 9-83 Prøven inneholdt lett nedbrytbart stoff, men nedbrytnings-
Fig. 4 hastigheten reduseres slik at 60 % av tilsatt T-BOD ikke blir
oppnådd. Totalt må derfor prøven karakteriseres som langsomt
nedbrytbar.
- F 10-83 Prøven inneholdt lett nedbrytbart stoff, men nedbrytnings-
Fig. 4 hastigheten reduseres slik at 60 % av tilsatt T-BOD ikke blir
oppnådd. Totalt må derfor prøven karakteriseres som langsomt
nedbrytbar.
- F 12-83 Prøvens nedbrytningsforløp så ut til å være hastighets-
Fig. 4 begrenset, antagelig på grunn av lav løselighet i testmediet.
Selv om 20 % av tilsatt T-BOD ikke ble oppnådd ved endt

testtid, er stoffet tydelig nedbrytbart og kan karakteriseres som langsomt nedbrytbart.

F 13-83 Prøven inneholdt lett nedbrytbart stoff, men nedbrytningen Fig. 5 stagnerte slik at 20 % av tilsatt T-BOD ikke ble oppnådd. Nedbrytbarheten av det ikke omsatte stoff bør testes i 2. nivå testsystem.

F 14-83 Prøven inneholdt lett nedbrytbart stoff, men nedbrytningen Fig. 5 stagnerte slik at 20 % av tilsatt T-BOD ikke ble oppnådd. Nedbrytbarheten av det ikke omsatte stoff bør testes i 2. nivå testsystem.

F 15-83 Prøven inneholdt lett nedbrytbart stoff, men nedbrytningen Fig. 5 stagnerte slik at 20 % av tilsatt T-BOD ikke ble oppnådd. Nedbrytbarheten av det ikke omsatte stoff bør testes i 2. nivå testsystem.

M-prøvene 1-83, 5-83 og 6-83 var alle oljebaserte, brukte boreslam. De Fig. 6 viste stor forskjell i oksygenopptak pr. gram prøve, men manglende opplysninger umuliggjør beregning av nedbrytbarhet. Ved rangering i forhold til hverandre m.h.t. høyest oksygenforbruk pr. g stoff, er rekkefølgen M 6-83, M 5-83, M 1-83. M6 kommer i samme klasse som F 7, M 5 som F 11 og F 12, og M 1 som F 2 og F 6.

M-prøvene 3-83 og 6-83 var vannbaserte, brukte boreslam. Prøvene ble Fig. 6 testet i konsentrasjon ca. 10 g/L, og viste et betydelig oksygenopptak. Noe organisk stoff må ha vært til stede. Oksygenopptaket pr. gram stoff var imidlertid ubetydelig i forhold til de oljebaserte boreslam.

M 2-83 Dette stoffet, som var brukt, dieselbasert boreslam, viste Fig. 7, stor variasjon mellom parallellene m.h.t. nedbrytbarhet. Når 17 og det ikke lyktes å dispergere prøven godt nok i testløsningen, 18 ble nedbrytningsforløpet hastighetsbegrenset, se fig. 7, M 2-83 B. Prøven inneholdt lett nedbrytbart stoff, men nedbrytningen stagnerte slik at 20 % av tilsatt T-BOD ikke ble oppnådd. Nedbrytbarheten av det ikke omsatte stoff bør testes i 2. nivå testsystem. Testing ved lavere konsentrasjon i 1. nivå systemet kan også gi avklaring på om stagnasjonen skyldes substratinhibisjon, eller om prøven virkelig inneholder lite nedbrytbare stoffer.

M 7-83 Prøven inneholdt en blanding av lett og langsomt nedbrytbart

- Fig. 8 stoff. Nedbrytningen stagnerte kort etter at 20 % av tilsatt mengde T-BOD var oppnådd. Muligheten er derfor til stede for at prøven også inneholder lite nedbrytbare stoffer.
- M 9-83 Prøven inneholdt langsomt nedbrytbart stoff, men oksygen-
Fig. 8 opptaket passerte ikke grensen for 20 % av tilsatt mengde T-BOD. Totalt må det organiske stoff i prøven derfor karakteriseres som lite nedbrytbart.
- M 11-83 Oksygenopptak pr. gram stoff er omtrent som for M 9-83, men
Fig. 8 nedbrytbarheten kan ikke vurderes p.g.a. manglende opplysninger.
- M 12-83 Prøven inneholdt langsomt nedbrytbart stoff, men oksygen-
Fig. 8 opptaket passerte ikke grensen for 20 % av tilsatt mengde T-BOD. Totalt må det organiske stoff i prøven derfor karakteriseres som lite nedbrytbart.
- M 13-83 Prøven inneholdt bare en liten del langsomt nedbrytbart
Fig. 8 stoff, og resten må karakteriseres som lite nedbrytbart.
- M 14-83 På grunn av manglende opplysninger kan nedbrytbarheten ikke
Fig. 8 vurderes, men oksygenforbruk pr. gram stoff var omtrent som for prøven M 12-83.
- C 1-83 Det organiske stoffet i denne prøven var langsomt nedbryt-
Fig. 9 bart.
- C 2-83 Det organiske stoffet i denne prøven besto av litt langsomt
Fig. 9 nedbrytbart, men mest lite nedbrytbart stoff.
Fig. 19
- C 3-83 Det organiske stoff i denne prøven var langsomt nedbrytbart.
Fig. 10
- C 4-83 Det organiske stoff i denne prøven var langsomt nedbrytbart.
Fig. 9
- C 5-83 Det organiske stoff i denne prøven var langsomt nedbrytbart.
Fig. 9 Parallellen med høyest oksygenopptak viste imidlertid tegn til stagnasjon kort etter passering av 20 %-grensen. Dermed kan man ikke se bort ifra at noe av det organiske stoffet i prøven er lite nedbrytbart.
- C 6-83 Det organiske stoff i denne prøven har nedbrytningshastighet

Fig. 10 meget nær grensen for lett nedbrytbarhet. Totalt kan prøven Fig. 20 karakteriseres til kategorien "langsomt nedbrytbart stoff".

4. FORSLAG TIL FREMTIDIG TESTOPPLEGG

Det er flere problemer som melder seg ved denne type nedbrytbarhets-testing av boreslam. Det første problemet er å få tilsatt små nok mengder av prøven til testløsningen, slik at testkonsentrasjonen blir nær 100 mg/l, og slik at dette lite vann-løselige stoffet blir jevnt distribuert i løsningen. Det andre problemet er å fastsette konsentrasjonen av prøven i testløsningen før og etter endt testtid. Det tredje problemet er å avgjøre i hvilken grad det observerte oksygenopptak skyldes basisoljen eller andre biologisk oksyderbare stoffer i slammet.

Det første problemet har vi løst ved videre forskning etter at dette prosjektet ble avsluttet. De resterende to problemer kan la seg løse som skissert i det etterfølgende.

4.1 Nedbrytbarhetstest

Ved nærmere studium av oppdragsgivernes lister over sammensetningen av oljebaserte boreslam, fremgår at mange slam inneholder andre organiske stoffer enn olje. Noen av disse kan være lite nedbrytbare, f.eks. polymere stoffer, og noen kan være meget lett nedbrytbare, f. eks. metanol. Slammet kan også inneholde nitrogenholdige stoffer, som ved aerob nedbrytning først omdannes til ammoniunforbindelser. Disse kan senere bli oksydert til nitritt og nitrat av nitrifiserende bakterier. Dette gir seg utslag i oksygenopptak i nedbrytbarhetstesten. Det kan derfor være mange kilder til oksygenopptak selv om basisoljen ikke blir angrepet. Nitrifikasjon kan påvises ved analyse for nitritt og nitrat etter endt testtid. Selektiv nedbrytning av andre organiske stoffer enn basisoljen er det imidlertid vanskelig å påvise og kvantifisere.

Er man interessert i basisoljens nedbrytbarhet, bør derfor oljen testes separat. Innholdet av karbon og kjemisk oksygenforbruk kan bestemmes ved henholdsvis TOC og KOF-dikromat analyser, og om ønskelig kan oljen også karakteriseres ved gasskromatografisk (GC) analyse. En passende prøveporsjon tilsettes testflasken, og konsentrasjonen av olje, eventuelt TOC og forventet KOF pr. liter testløsning kan beregnes. Oksygenopptaket følges over 28 døgn, og nedbrytningsforløpet karakteriseres som for prøvene som er vurdert i denne rapporten. Etter

endt testtid kan den eventuelt resterende mengde olje bestemmes og karakteriseres ved GC-analyse. En slik fremgangsmåte fører til et oksygenopptak som bare skyldes nedbrytning av oljen.

Denne standard testen gir opplysning om oljens potensielle nedbrytbarhet, d.v.s. nedbrytning under gunstige betingelser. Ved utslipp til sjøvannsresipient vil nedbrytningsbetingelsene bli forskjellige fra de optimale i denne testen. Temperaturen spiller en stor rolle. For lett nedbrytbare stoffer forventes en halvering av nedbrytningshastigheten for hver 10°C senkning av temperaturen. For mindre nedbrytbare stoffer kan nedbrytningshastigheten bli ytterligere senket. Nedbrytningstesting av basisolje bør derfor utføres ved to temperaturer, ved 20°C som normalt, og ved en temperatur i området $5-10^{\circ}\text{C}$, forat nedbrytningen i sjøvannsresipient skal kunne vurderes. Det finnes også andre årsaker til at nedbrytningen i sjøvannsresipient kan gå saktere enn forventet ut fra opplysninger om potensiell nedbrytbarhet, men effekten av temperaturnedsetningen er vesentlig og dessuten enkel å få vurdert i en slik standard test.

4.2 Risiko for dannelselse av dihydrogensulfid

Oksygenforbruket ved nedbrytning av det ferdig blandete boreslam kan være av interesse dersom formålet er å bestemme dets biologiske oksygenforbruk, BOF, (eller BOD) ved utslipp i sjøvann nær borerigger. Man ønsker da at det organiske stoffet skal forsvinne ved nedbrytning så fort som mulig, men ikke så fort at det blir oksygenvinn i de nærliggende vannmasser. I anaerobt vann med innhold av organisk stoff utvikles sulfatreduserende bakterier og det dannes giftig dihydrogensulfid-gass. Trenger denne gassen opp i aerobe vannmasser, kan sulfiden bli omsatt til svovelsyre av svoveloksyderende bakterier. I lukkede hulrom kan syrekonsentrasjonen bli høy nok til å forårsake korrosjon, spesielt på sement- og betongkonstruksjoner. I de anaerobe vannmasser med sulfatreduserende bakterier er forholdene meget korrosive overfor stålkonstruksjoner. Korrosjon og dannelselse av giftig gass, som forøvrig også forringer kvaliteten av oljen hvis den trenger inn i olje under lagring, er de problemer man vil forsøke å avverge dersom oljeholdig slam må dumpes.

Slammets BOD-forbruk kan bestemmes i en test som ligner nedbrytbarhetstesten, men her testes slammets eller kaksens slik det foreligger før dumping. Oksygenforbruket bør bestemmes over 28 døgn for å få med en eventuell sen start og for å skille mellom det kortvarige oksygenforbruket ved start og det mer permanente oksygenforbruk pr. døgn pr. vektenhet slam.

Også denne testen bør utføres ved optimal og ved resipientrelevant temperatur, eller bare ved sistnevnte. Foreløpig mangler man vurderingsgrunnlaget for å forutsi sammenheng mellom oksygenopptakshastigheten og risiko for utvikling av sulfatreduserende bakterier. Videre forskning innen dette felt burde imidlertid kunne gi resultater i løpet av en relativt kort tidsperiode.

LITTERATUR

1. ISO/TC 147/SC 5/WG 3 N 51.
Acute Toxicity Testing in Seawater - Fish Toxicity, 1980.
2. OECD, 1981: OECD Guidelines for Testing of Chemicals. OECD Publications Office, Paris. Test medium som "Modified OECD Screening Test", 301E. Måleteknikk som "Modified MITI Test", 301C.
3. International Standardization Organization, ISO/DIS 7827. Water Quality - Evaluation in an aquaous medium for the "ultimate" aerobic biodegradability of organic compounds - Method by analysis of dissolved organic carbon (DOC).

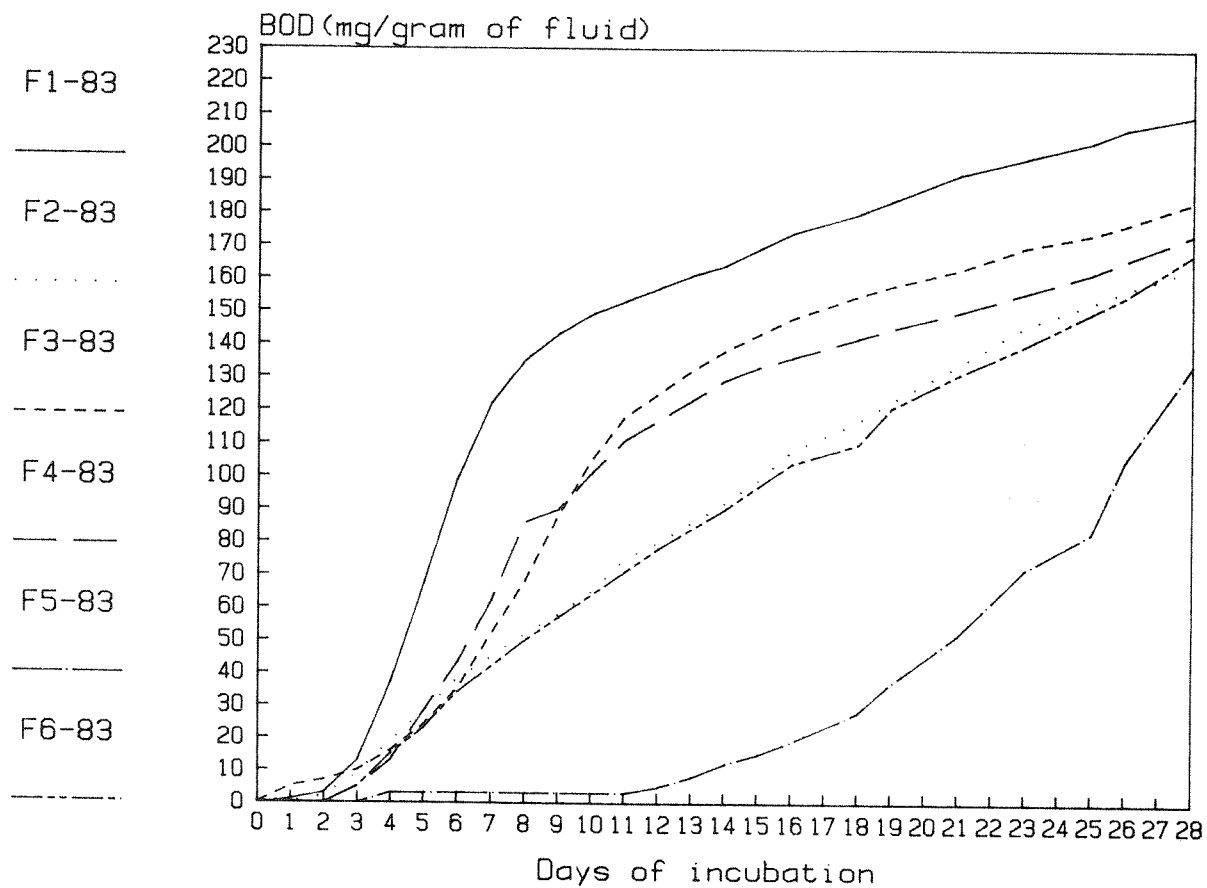
Test medium som denne, manometrisk måleteknikk.

B I L A G

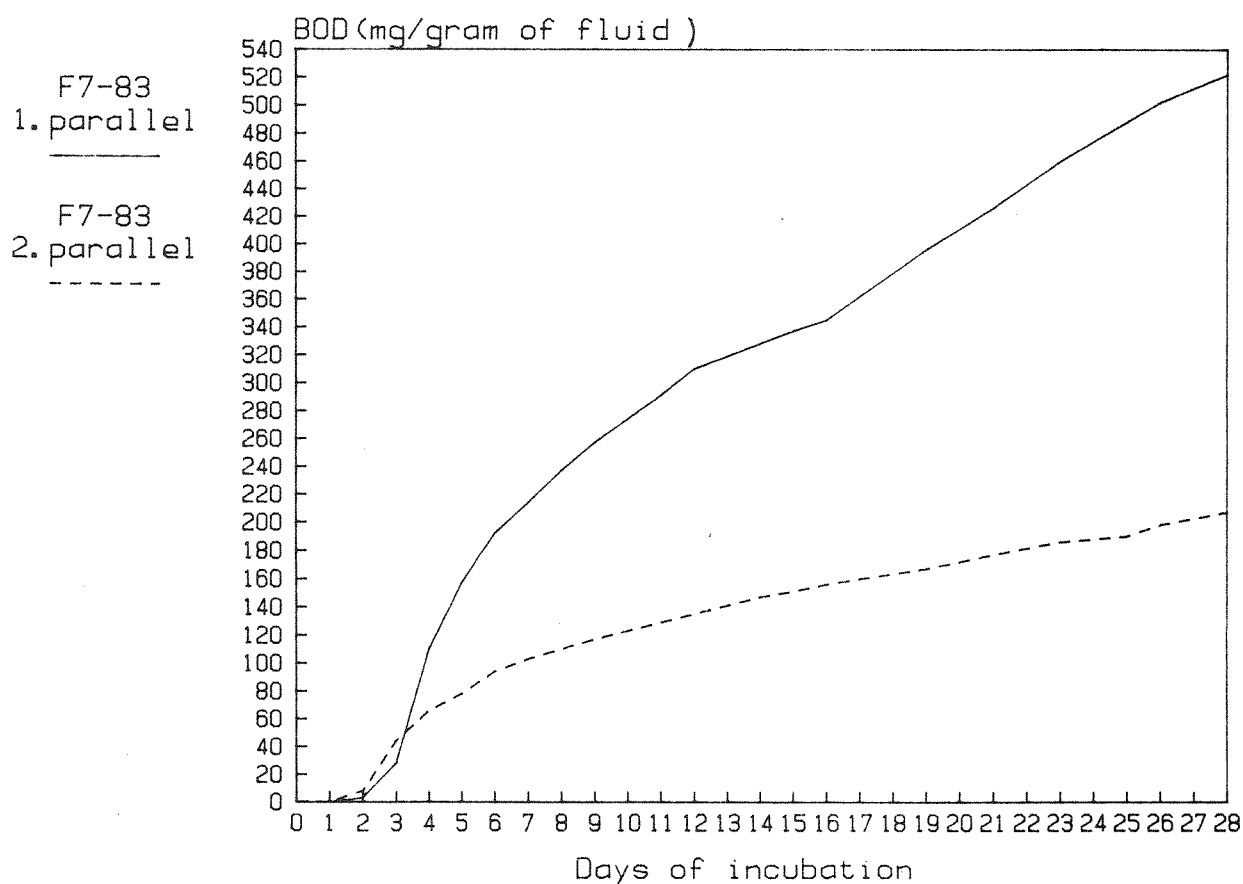
Figurer i bilaget:

<u>Figur:</u>		<u>Side:</u>
2	Oksydasjonskurver for teststoffene F1, F2, F3, F4 F5 og F6-83	25
3	Oksydasjonskurver for teststoff F7-83	25
4	Oksydasjonskurver for teststoffene F8, F9, F10, F11 og F12-83	26
5	Oksydasjonskurver for teststoffene F13, F14 og F15-83	26
6	Oksydasjonskurver for teststoffene M1, M3, M4, M5 og M6-83	27
7	Oksydasjonskurver for teststoff M2-83	27
8	Oksydasjonskurver for teststoffene M7, M9, M11, M12, M13 og M14-83	28
9	Oksydasjonskurver for kaksprøvene C1-83, C4-83 og C5-83	29
10	Oksydasjonskurver for kaksprøvene C2-83, C3-83 og C6-83	29
11	Log ₂ -transformerte oksygenopptakskurver for boreslam F1	30
12	Log ₂ -transformerte oksygenopptakskurver for boreslam F2	30
13	Log ₂ -transformerte oksygenopptakskurver for boreslam F5	31
14	Log ₂ -transformerte oksygenopptakskurver for boreslam F6	31
15	Log ₂ -transformerte oksygenopptakskurver for boreslam F7	32
16	Log ₂ -transformerte oksygenopptakskurver for boreslam F8	32

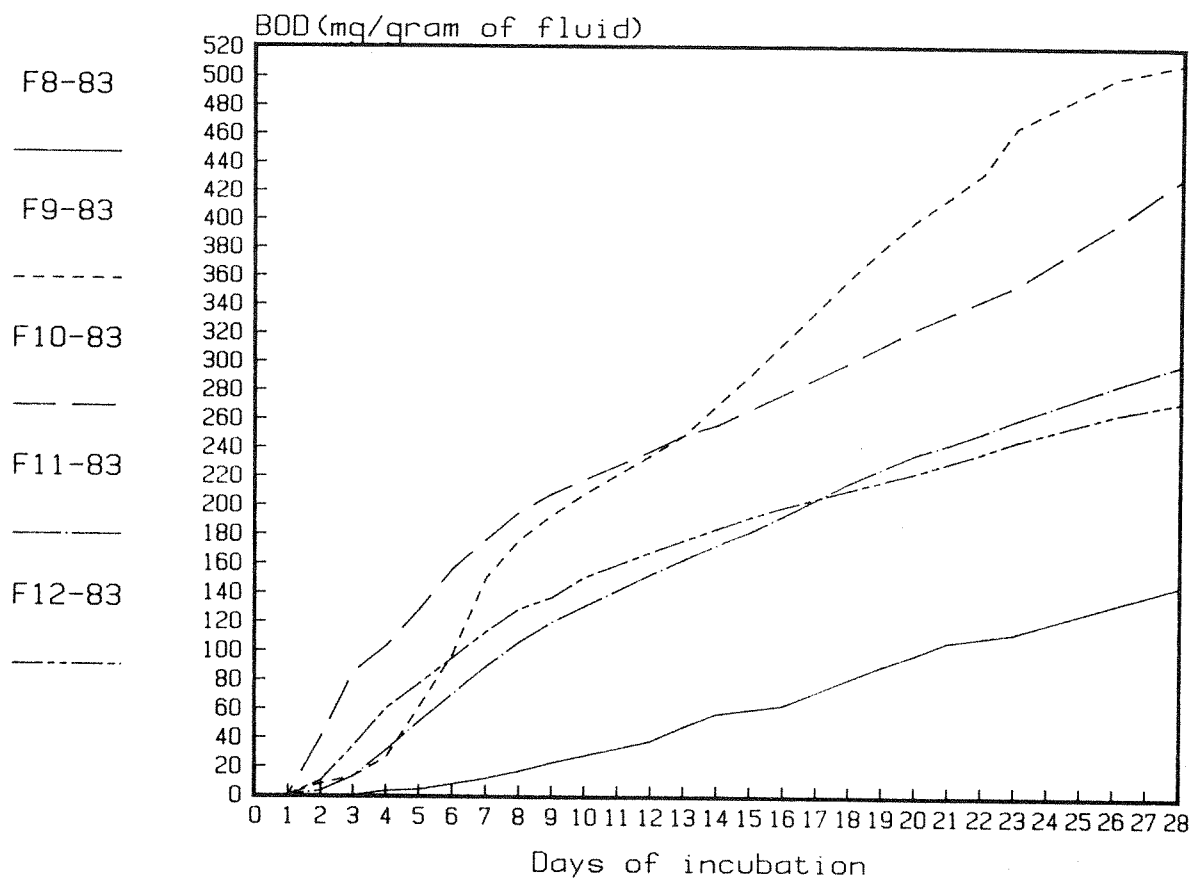
<u>Figur:</u>	<u>Side:</u>
17 Log_2 -transformerte oksygenopptakskurver for brukt bore- slam M2. Resultater fra første test.	33
18 Log_2 -transformerte oksygenopptakskurver for brukt bore- slam M2. Resultater fra andre test.	33
19 Log_2 -transformerte oksygenopptakskurver for borekaks C2-83.	34
20 Log_2 -transformerte oksygenopptakskurver for borekaks C6-83.	34



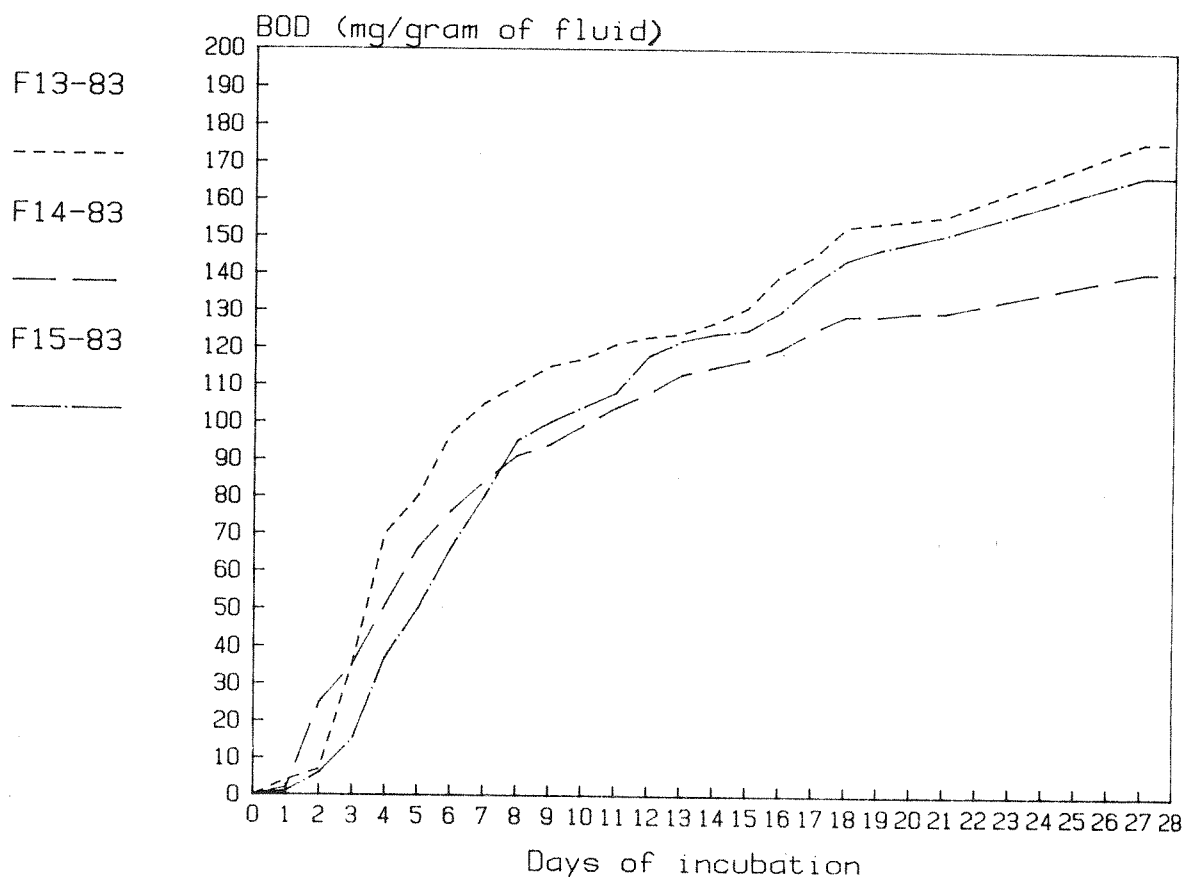
Figur 2. Oksydasjonskurver for teststoffene F1, F2, F3, F4, F5, og F6-83.



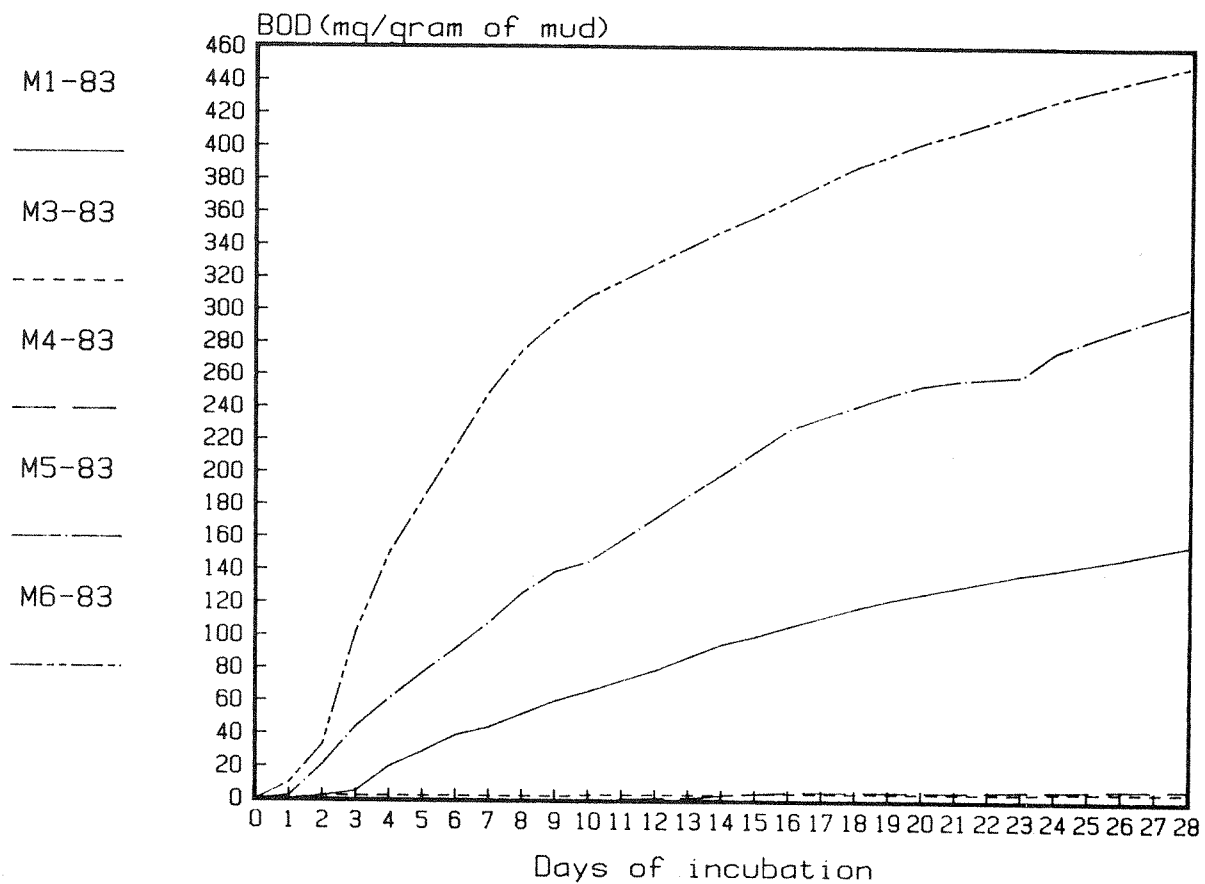
Figur 3. Oksydasjonskurver for teststoff F7-83



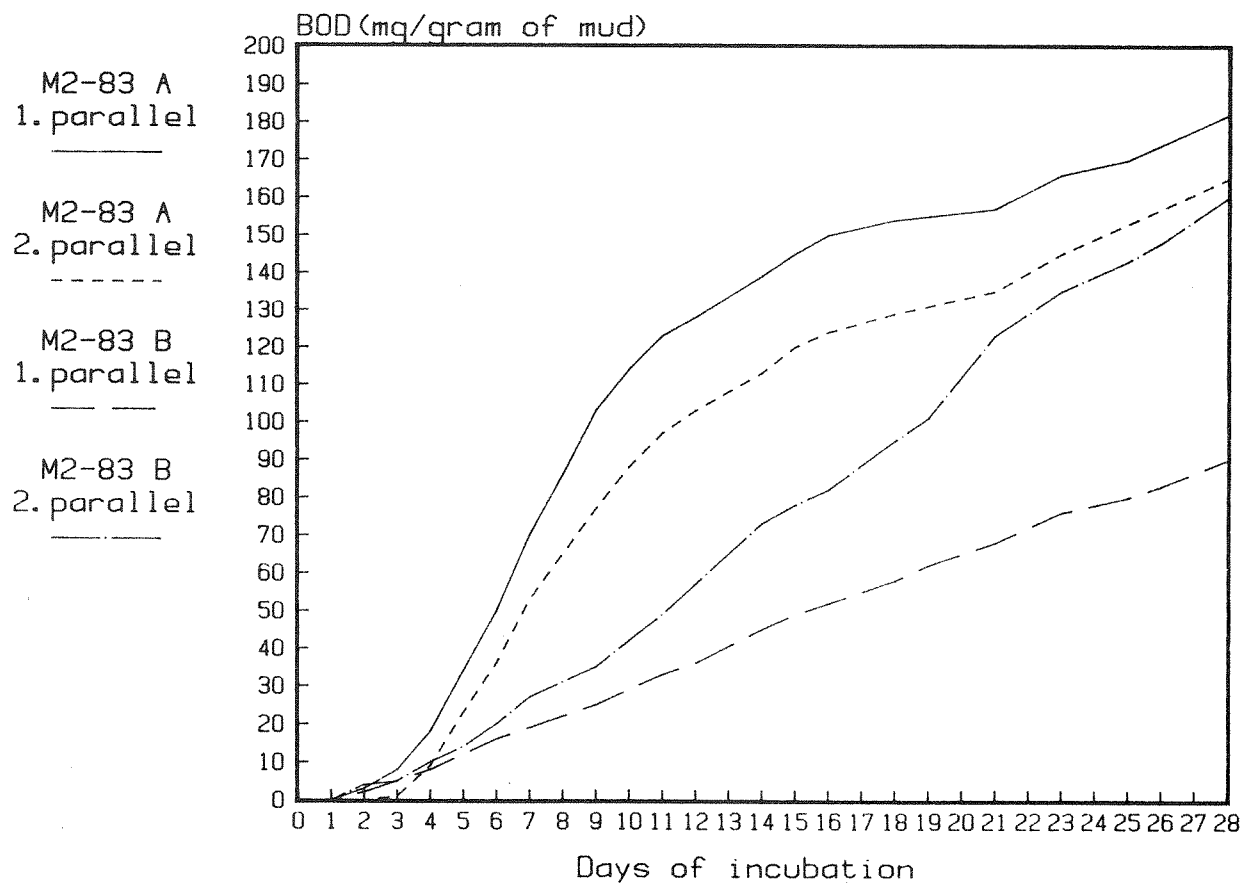
Figur 4. Oksydasjonskurver for teststoffene F8, F9, F10, F11 og F12-83.



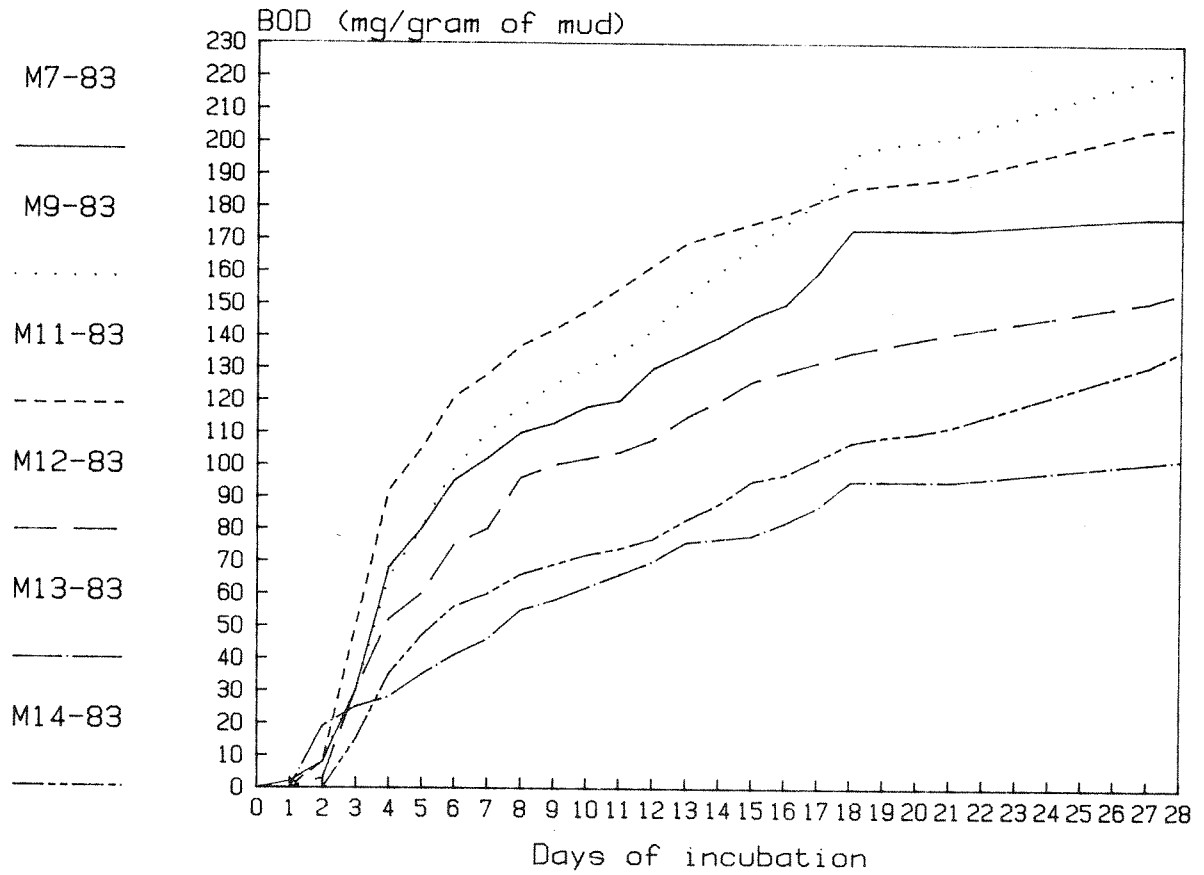
Figur 5. Oksydasjonskurver for teststoffene F13, F14 og F15-83.



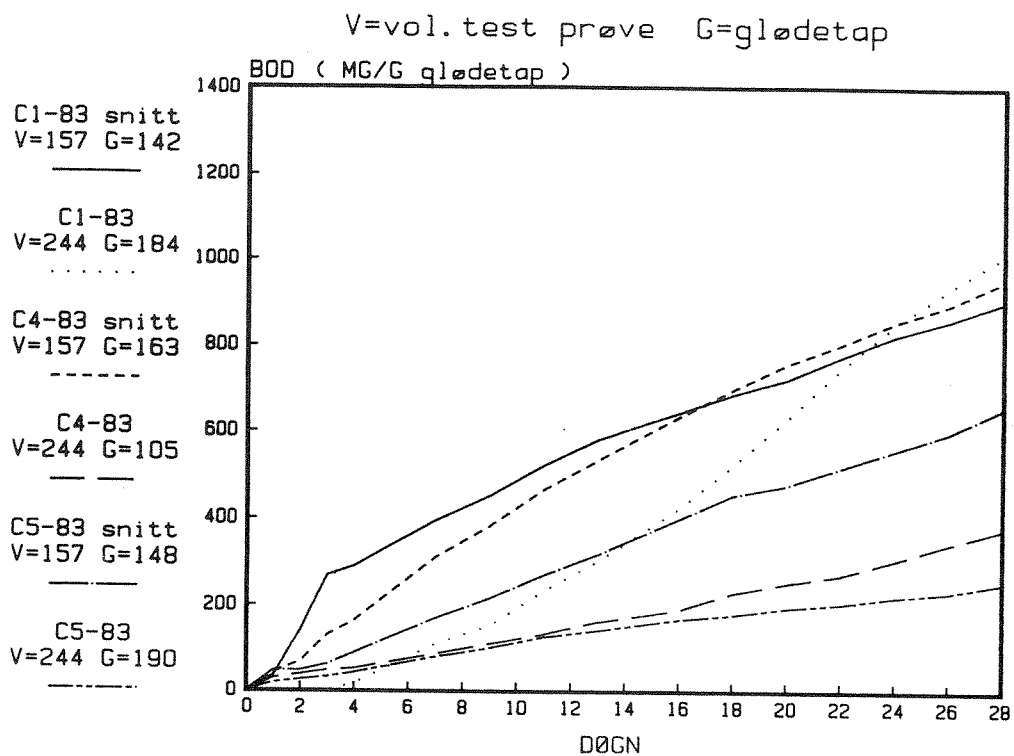
Figur 6. Oksydationskurver for teststoffene M1, M3, M4, M5 og M6-83.



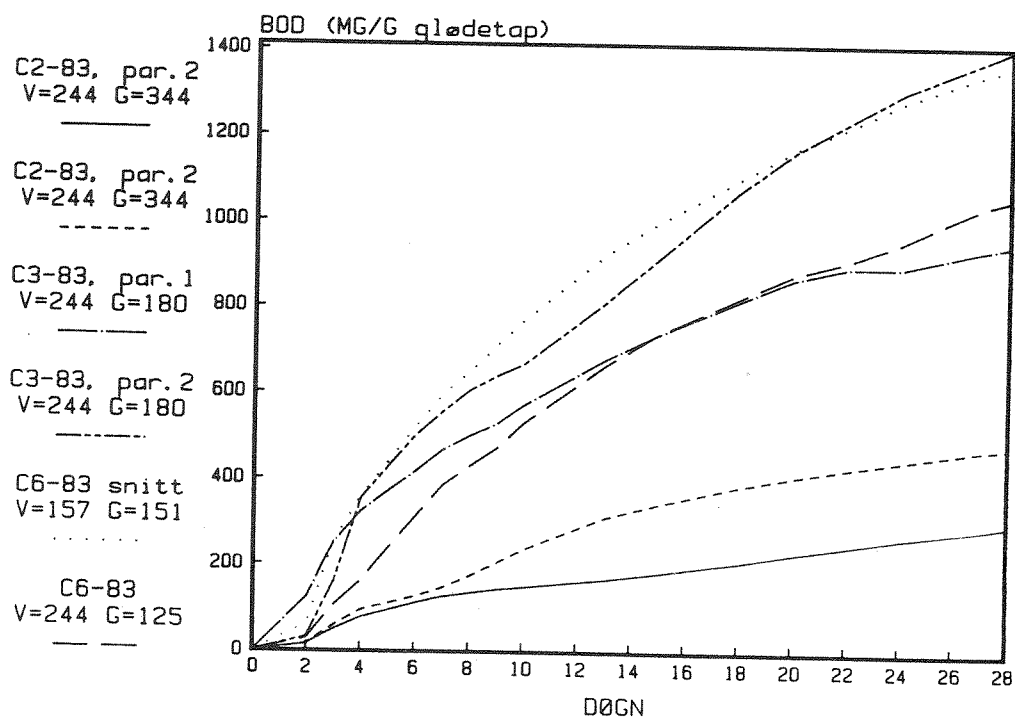
Figur 7. Oksydationskurver for teststoff M2-83



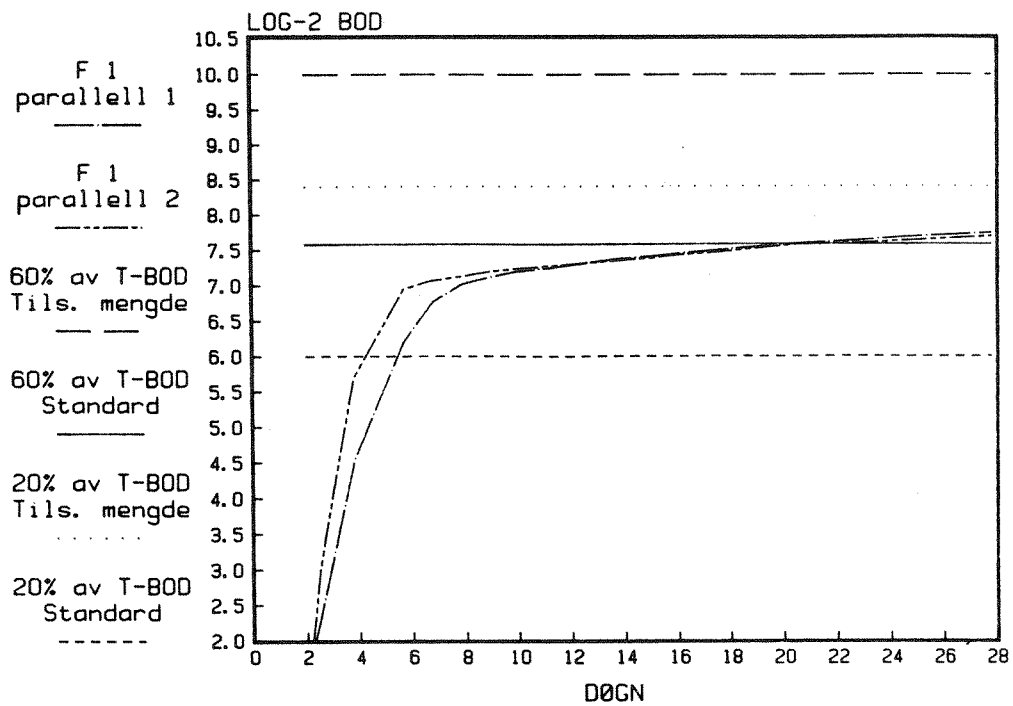
Figur 8. Oksydasjonskurver for teststoffene M7, M9, M11, M12, M13 og M14-83.



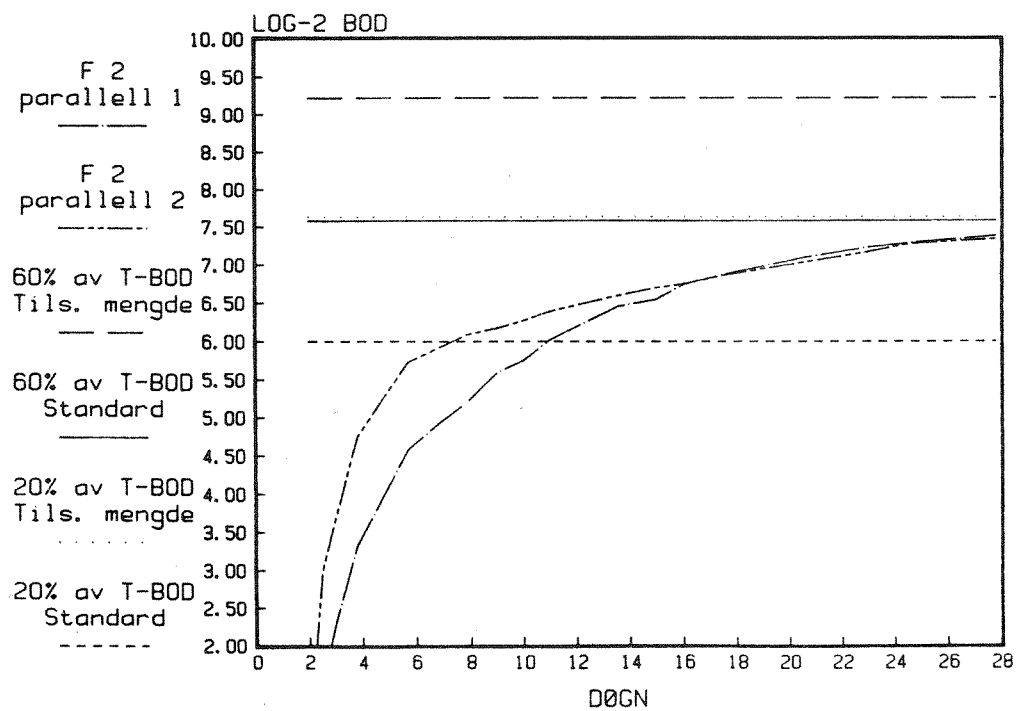
Figur 9. Oksydationskurver for kaksprøvene C1-83, C4-83 og C5-83.
Dimensjonen for V er ml, for G mg/l.



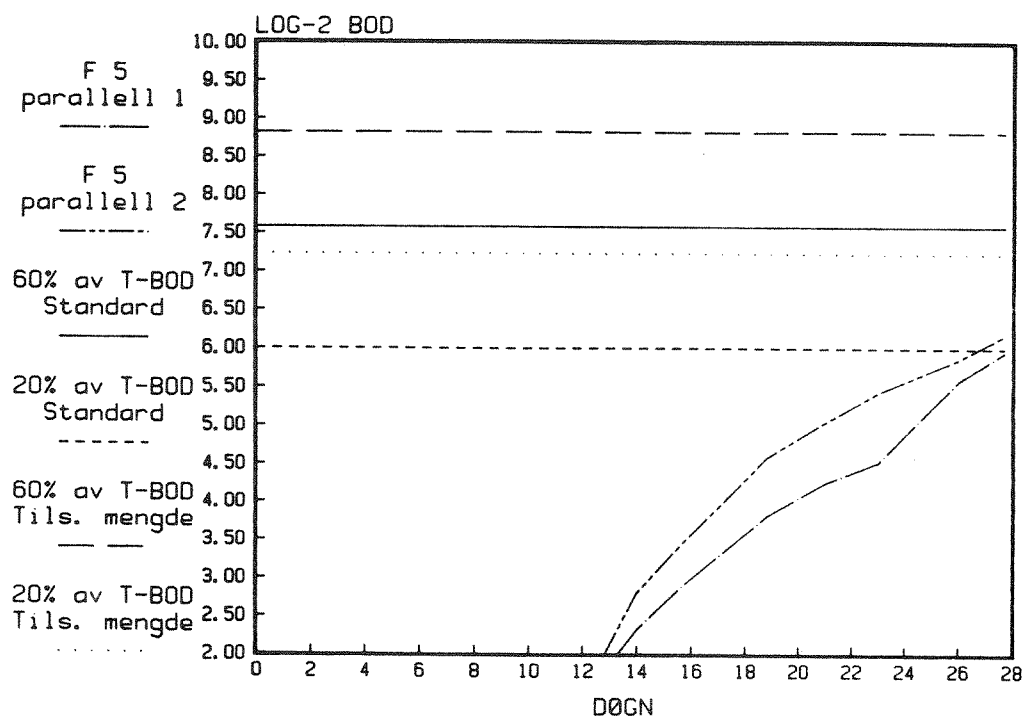
Figur 10. Oksydationskurver for kaksprøvene C2-83, C3-83 og C6-83.



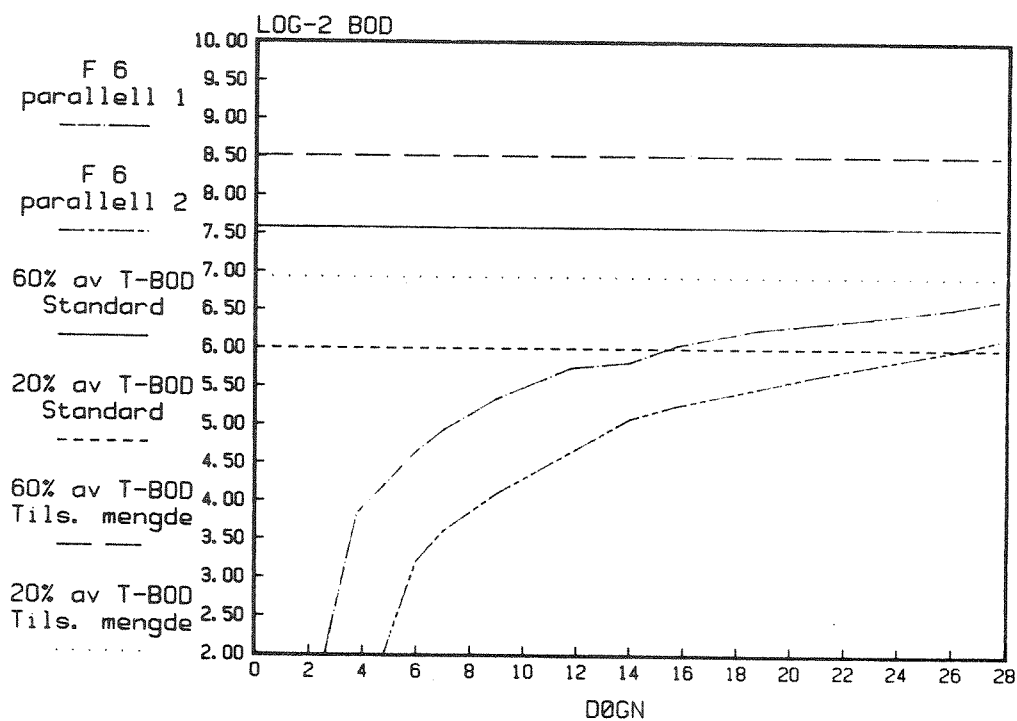
Figur 11. Log_2 -transformerte oksygenopptakskurver for boreslam F1.



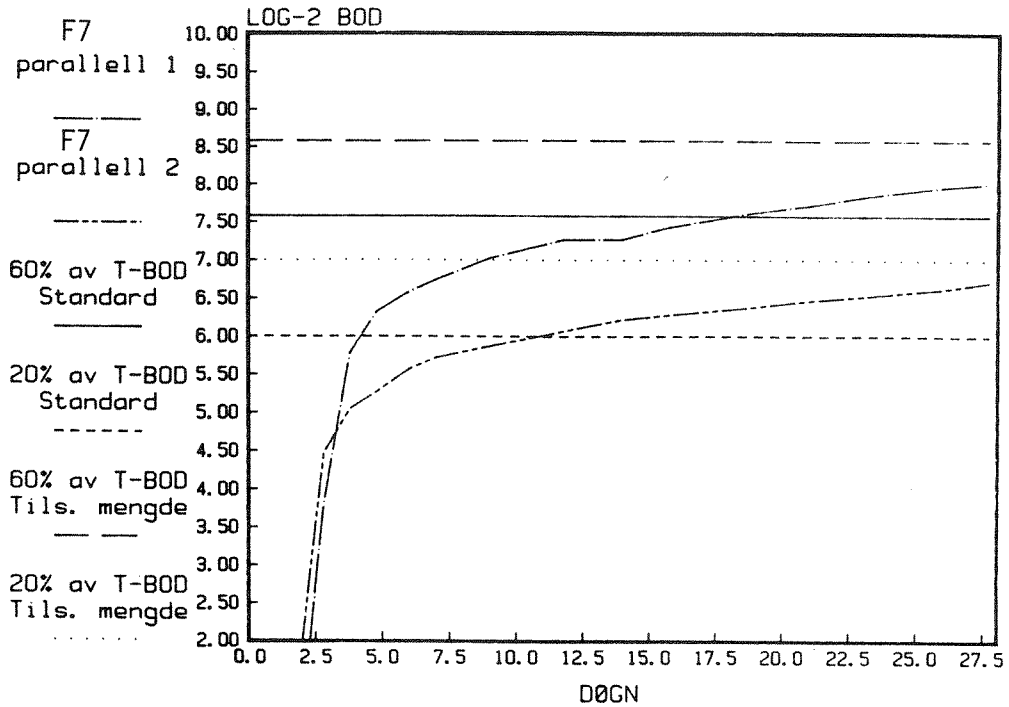
Figur 12. Log_2 -transformerte oksygenopptakskurver for boreslam F2.



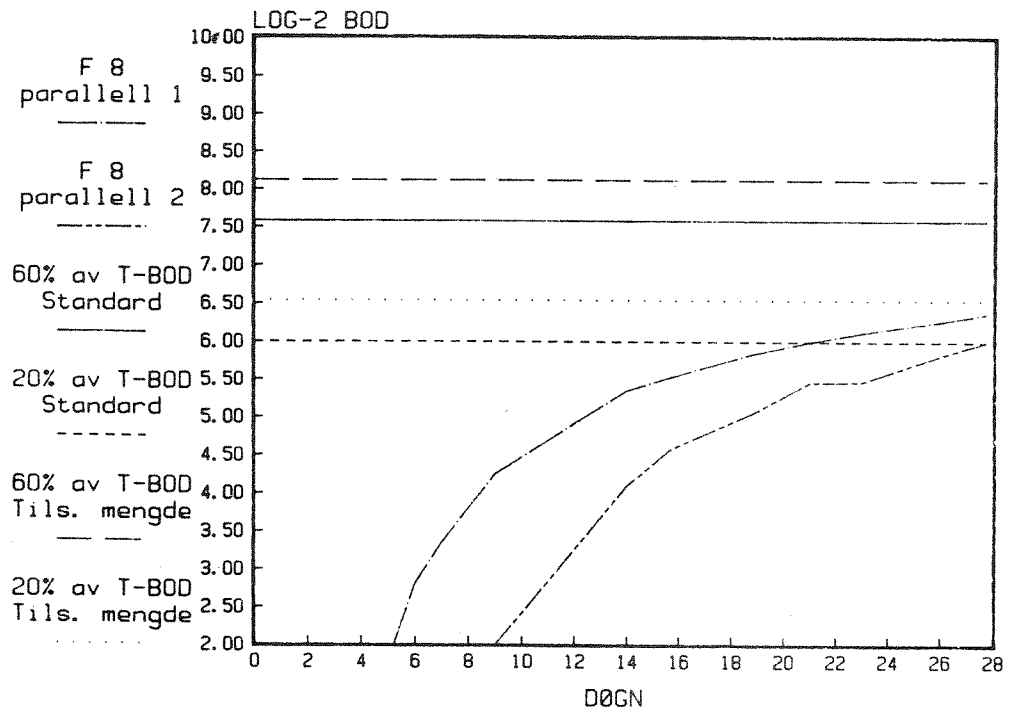
Figur 13. Log_2 -transformerte oksygenopptakskurver for boreslam F5.



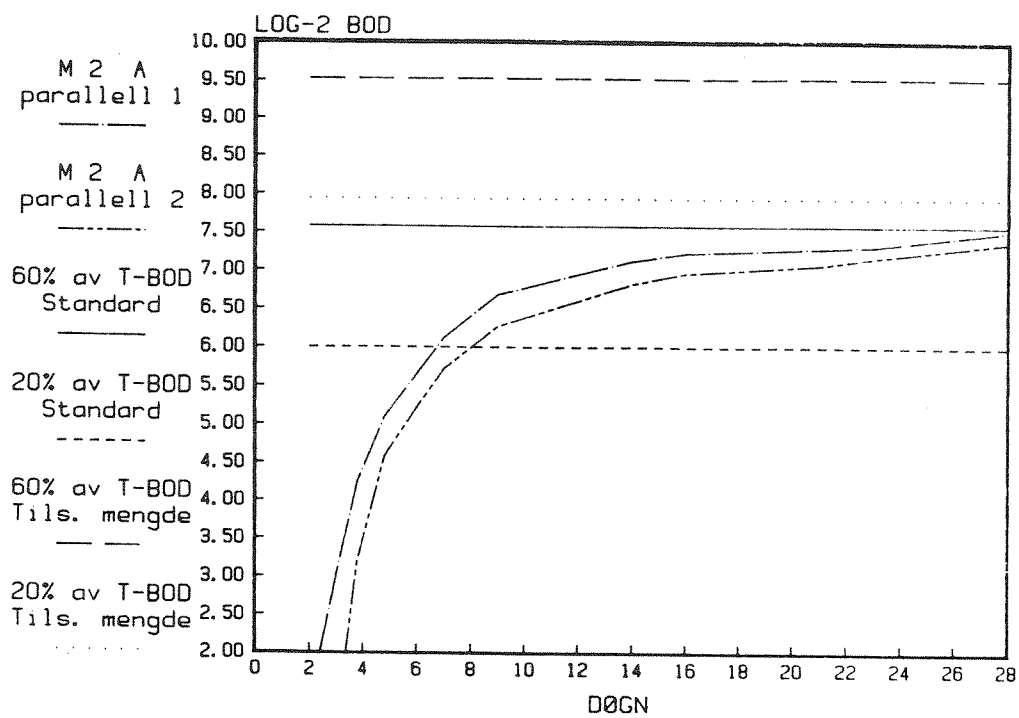
Figur 14. Log_2 -transformerte oksygenopptakskurver for boreslam F6.



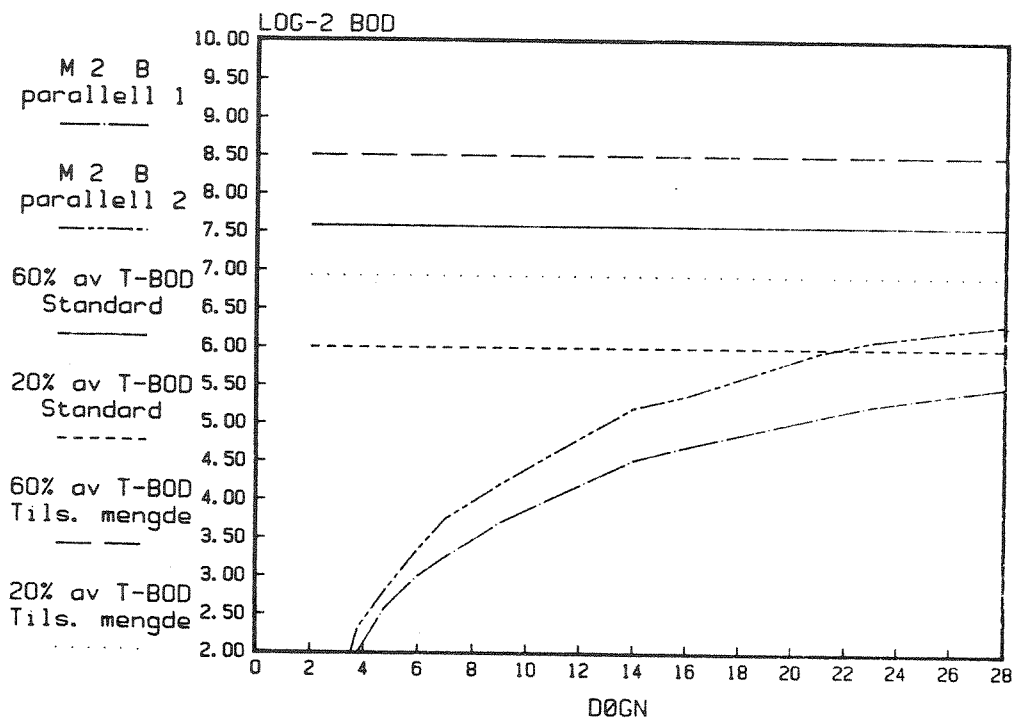
Figur 15. Log₂-transformerte oksygenopptakskurver for boreslam F7.



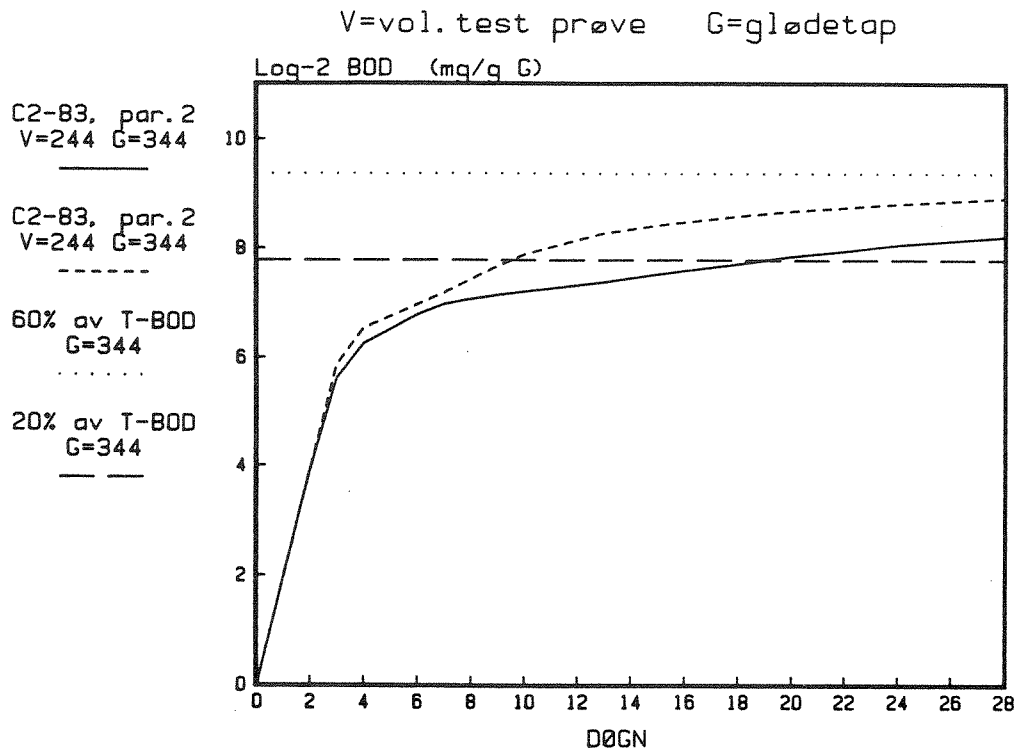
Figur 16. Log₂-transformerte oksygenopptakskurver for boreslam F8.



Figur 17. Log_2 -transformerte oksygenopptakskurver for brukt boreslam M2.
Resultater fra første test.

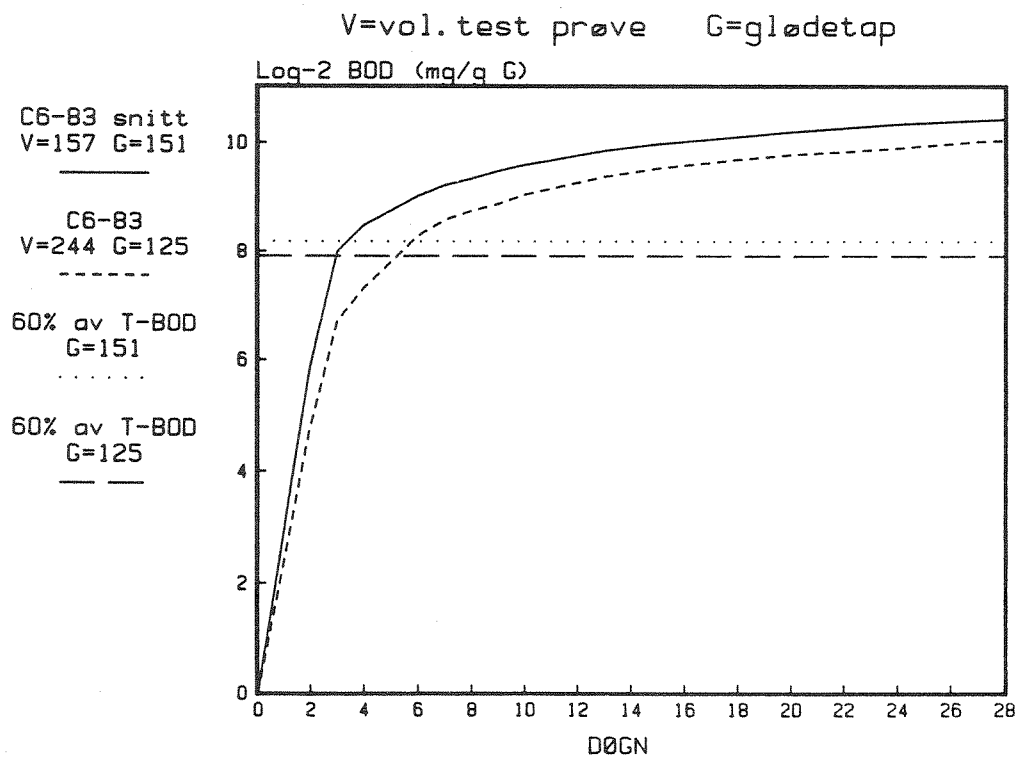


Figur 18. Log_2 -transformerte oksygenopptakskurver for brukt boreslam M2.
Resultater fra andre test.



Figur 19. Log_2 -transformerte oksygenopptakskurver for borekaks C2-83.

Dimensjonen for V er ml, for G mg/l.



Figur 20. Log_2 -transformerte oksygenopptakskurver for borekaks C6-83.