

# Spredning av gruveavgang og virkninger på bløtbunnsfauna ved Titania

Av Frode Olsgard og Jon Rytter Hasle.

Frode Olsgard, cand.real. og Jon Rytter Hasle, Ph.D. er begge ansatt i A/S Miljøplan.

*Foredrag i Norsk Vannforening,  
28. september 1989*

## Innledning

Miljøplan har gjort omfattende marine undersøkelser utenfor Titania i over 10 år. Arbeidet har omfattet fysisk/kjemiske studier av spredning av gruveavgang og overvåkning av biologiske effekter. Biologiske effekter er studert ved undersøkelser av flora og fauna på grunt vann, bløtbunnsfauna og reketrålning på de viktigste feltene rundt deponiområdet i Dyngadypet.

## Spredning av gruveavgang

Gruveavgangen fra ilmenittproduksjonen ved Titania ble fra 1936 til 1964 transportert med elven Sokna som har sitt utløp nord for Knubedalsdypet, se figur 1. Fra 1960 ble avgang også ledet ut i Jøssingfjorden, først i indre del, de siste årene frem til 1984 i ytre del. Da var Jøssingfjorden, som opprinnelig var 85 m dyp, fylt med gruveavgang opp til 30—40 m dyp.

Utslippsledningen til Dyngadypet ble tatt i bruk i mars 1984. Den munnet ut på 122 m dyp, fra juli 1988 på 113 m dyp. Mengden gruveavgang som depo-

neres er ca. 2,1 mill. tonn/år. Avgangen består av mer eller mindre finmalt steinstøv. Sammen med avgangen slippes ut rester av flotasjonsolje (tallolje). Dette utslippet er redusert de siste årene, fra omkring 1.550 tonn i 1986 til omkring 350 tonn i 1988.

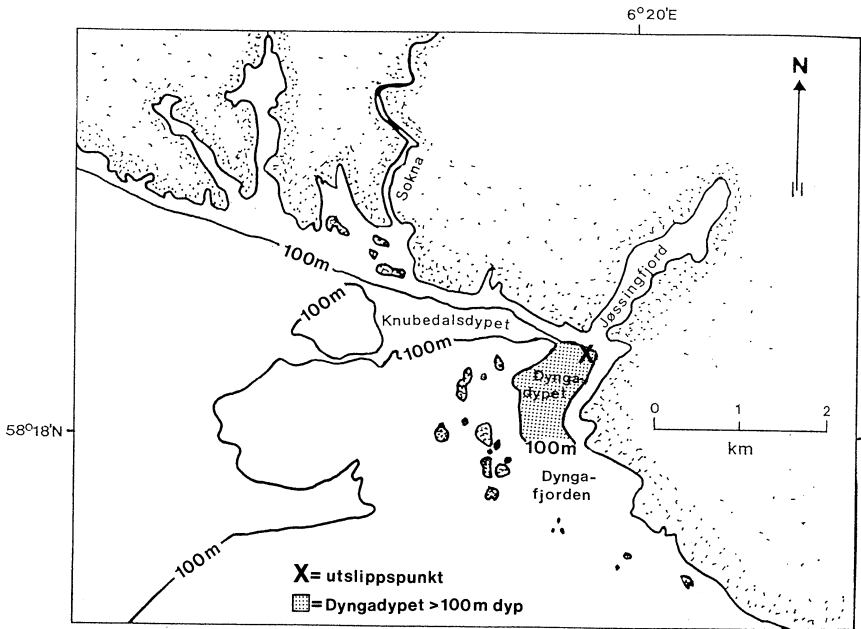
I midtre del av Jøssingfjorden slippes i tillegg ut drens vann fra gruen på ca. 30 m dyp. Mengden suspendert materiale i dette drensvannet har vært økende de siste årene, og utgjorde i 1988 drøyt 700 tonn.

Beregninger tyder på at 90—99 % av utslippet til Dyngadypet forblir i Dyngadypet, mens det resterende spres til områder utenfor.

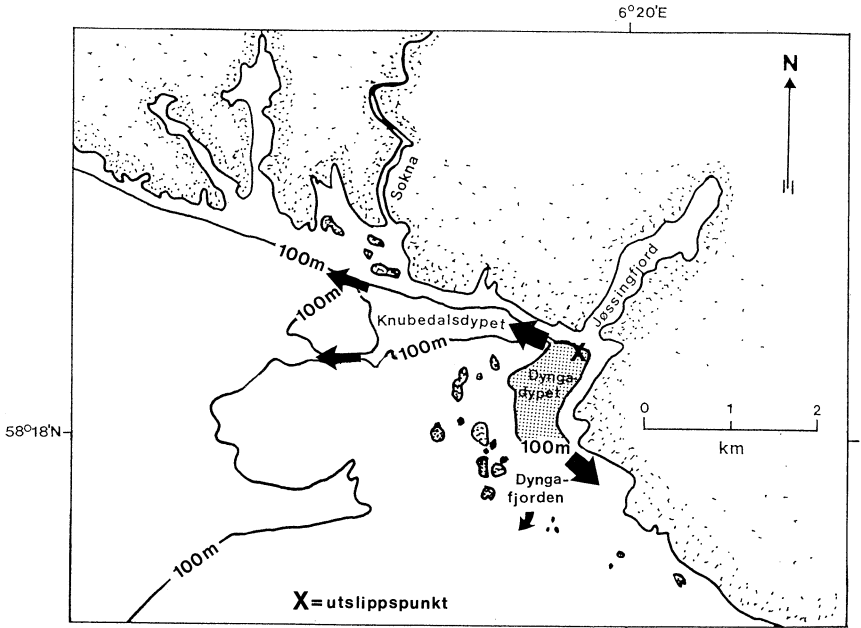
Spredningen fra Dyngadypet har siden utslippet startet i 1984 vært undersøkt ved:

- månedlige vannprøver
- sedimentfeller
- årlige bunnsedimentprøver

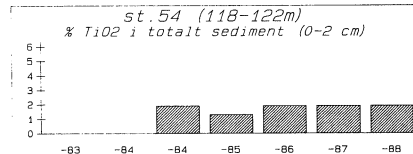
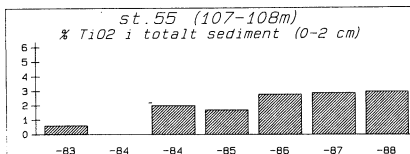
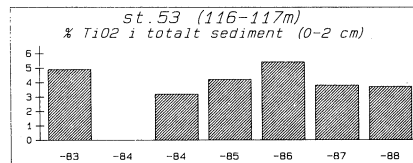
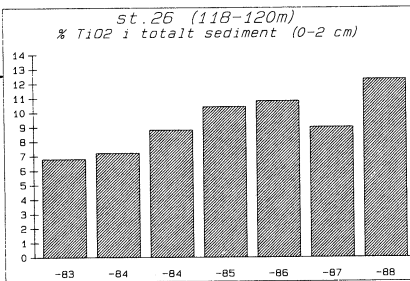
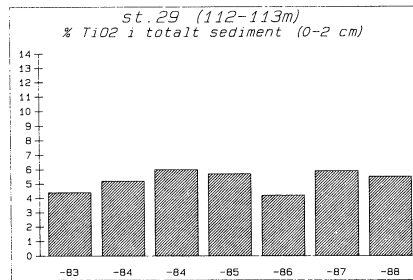
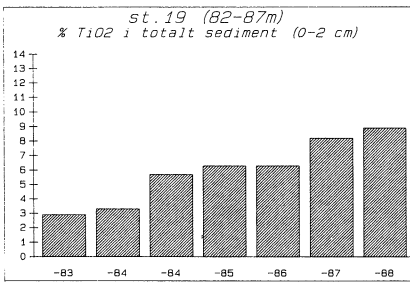
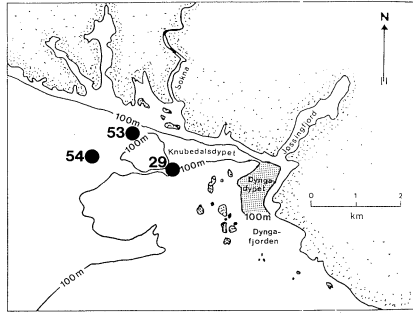
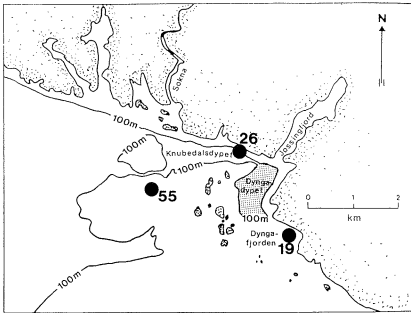
Spredning fra Dyngadypet skjer inn i Knubedalsdypet, med en mindre spred-



Figur 1. Sentrale deler av undersøkelsesområdet.



Figur 2. Hovedretninger for spredning av gruveavgang.



Figur 3. Innhold av TiO<sub>2</sub> (% , tørrvekt). Stasjoner med økende andel gruvealv etter 1984.

Figur 4. Innhold av TiO<sub>2</sub> (% , tørrvekt). Stasjoner med uendret andel gruvealv etter 1984.

ning videre gjennom åpningene nord-vest og sydvest i Knubedalsdypet, samt sydøstover i Dyngafjorden. I perioder kan det være utlekking over terskelen i syd, se figur 2.

I deponiområdet i Dyngadypet ligger en partikkelsky som stort sett starter noen meter over bunnen og strekker seg opp til omkring 80 m dyp. Denne sprer seg inn i Knubedaldypet, vesentlig mellom ca. 100 m og 80 m dyp. I perioder har skyen trengt opp til 50 m eller endog ved noen anledninger til 25—30 m dyp (ved oppstartning av utslippet etter driftstans), og det er i disse periodene en har registrert spredning over terskelen i syd.

Det skjer en gradvis sedimentering av avgangspartiklene, slik at mengden gruveavgang som avsettes på bunnen avtar fra Dyngadypet, gjennom Knubedalsdypet og videre utover fra Knubedalsdypet. Gruveavgangen er lett å spore fordi den har høyt titaninnhold; typisk 10—15%  $\text{TiO}_2$  sammenliknet med bakgrunnsverdi i sedimentet på 0,5—1%  $\text{TiO}_2$ .

Sedimentundersøkelser i 1983 og 1984 viste gruveavgang i sedimentene i Dyngadypet, Dyngafjorden, Knubedalsdypet og områder utenfor allerede før det nye deponiet ble tatt i bruk. Etter 1984 er det funnet en gradvis økning i titaninnhold i sedimenter dypere enn ca. 50 m syd i Dyngafjorden, i deler av Knubedalsdypet, og i noen områder lenger ute. Dette er illustrert med resultater fra st. 19, 26 og 55 i figur 3.

På andre stasjoner er det ikke påvist økning i  $\text{TiO}_2$  innhold etter 1984. Dette er illustrert ved st. 29, 53 og 54 i figur 4.

## Virkninger på bløtbunnsfauna

### Metoder

Bløtbunn er avsetningsområder hvor bunnmaterialet vesentlig består av sand, silt og leire. På og i dette bunnsedimentet lever en rekke dyrearter. I forurensningsovervåkning har det vært vanlig å ta prøver av makrofaunaen (dyr  $>1$  mm). Denne faunaen består i det vesentlige av børstemark, bløtdyr, krepsdyr og pigghuder. Børstemark pleier å utgjøre den største gruppen, både med hensyn til antall arter og individer.

På en upåvirket bløtbunn er det ofte 50—100 arter og 1.000—5.000 individer av makrofauna pr.  $\text{m}^2$ .

Undersøkelser av bløtbunnsfauna har i de siste 10—15 årene fått en stadig mer sentral plass i forurensningsundersøkelser både i forbindelse med industriutslipp, kloakkutslipp og utslipp av borekaks offshore.

Fordelene med å benytte bløtbunnsfauna i forurensningsovervåkning er bl.a. at:

- bløtbunn er avsetningsområder der forurensninger kan akkumuleres
- individene er lite mobile
- individene har relativt lang levealder
- artene har ulik toleranse til stress i form av kjemisk eller fysisk påvirkning.

Disse egenskapene gjør at man utifra bunnfaunaens artsammensetning, artsantall og individtetthet kan vurdere forurensningssituasjonen.

I tillegg til å være velegnet som forurensningsindikator er bløtbunnsfaunaen viktig som føde for fisk som torsk, hyse og flyndre. Bløtbunnsfaunaen spiller også en vesentlig rolle i omsetning av sedimentert organisk

materiale og for oksygenering og omrøring av bunnsedimentene.

Bløtbunnsfauna samles oftest inn med grabb. Det er vanlig å ta flere grabbskudd pr. stasjon for å få et representativt bilde av faunaen. Grabben tar med seg de øvre 5—10 cm av bunnsedimentet hvor majoriteten av bunnfaunaen finnes. Prøvene siktes gjennom sikt med 1 mm hullstørrelse, dyrene sorteres fra sedimentet, artbestemmes og telles.

Grad av forurensningspåvirkning på bløtbunnsfauna kan bl.a. vurderes utifra:

- artssammensetning
- antall arter og individer
- diversitet og dominans
- log-normalfordeling
- trofiske nivåer
- likhetsanalyser.

Diversitet uttrykker grad av artsmangfold. Mange arter og en jevn fordeling av individene mellom artene gir høy diversitet, mens få arter med mange individer gir lav diversitet. Generelt tyder høy diversitet på at faunaen er i likevekt og lite påvirket av kjemisk eller fysisk forurensning, mens lav diversitet oftest betyr forurensningspåvirkning.

I likhetsanalyser (klassifikasjon og ordinasjon) grupperes stasjoner etter likhet i fauna. Forurensede områder vil ofte ha avvikende fauna fra mer upåvirkede områder, og vil således skille seg ut som egne grupper i likhetsanalysene.

Ved bløtbunnsundersøkelsen utenfor Titania har Miljøplan benyttet en 0,1 m<sup>2</sup> van Veen grabb og tatt 3 grabbskudd pr. stasjon. Prøver er innsamlet i mars/april hvert år fra og med 1983. I perioden 1983—1988 er det utenfor

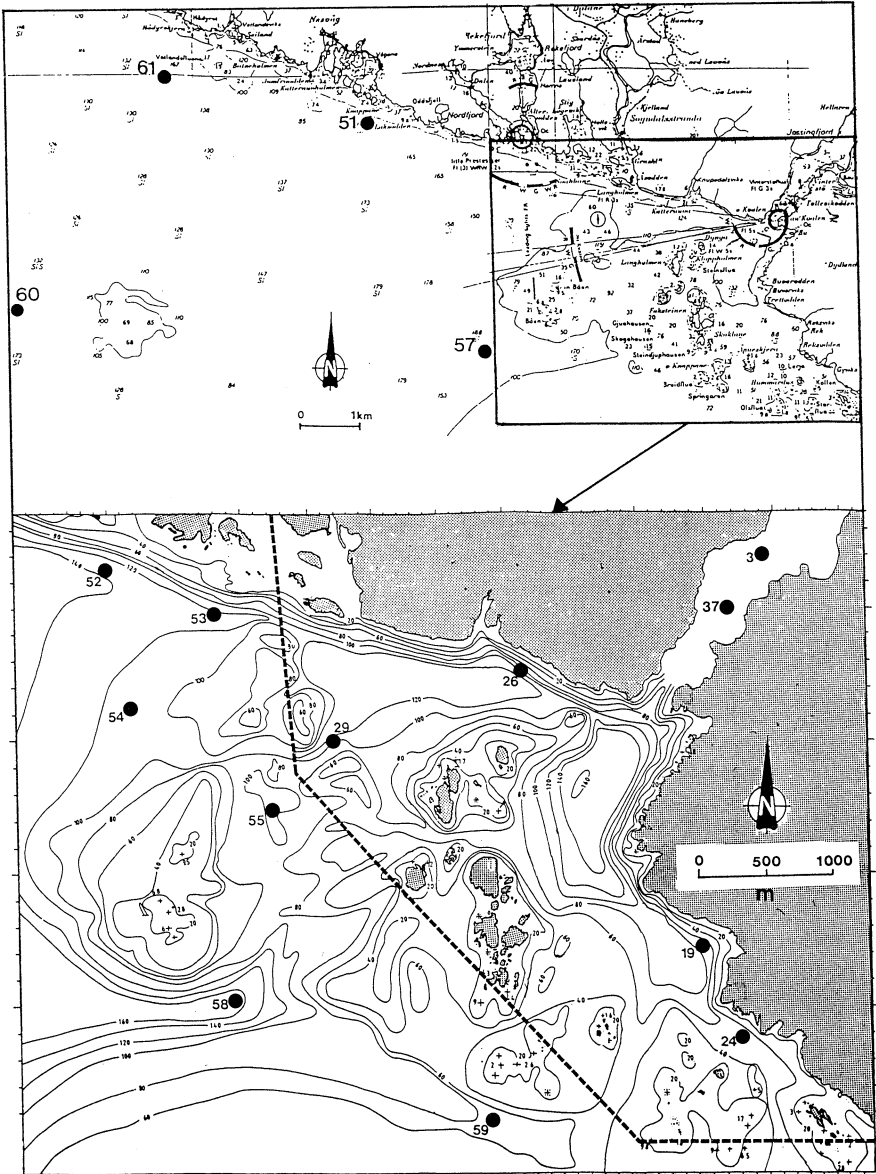
Titania påvist 464 forskjellige bløtbunnsarter og vel 130.000 individer er artsbestemt. Undersøkelsene i 1983 og 1984 kan betraktes som basisundersøkelser. I 1984 ble prøver av bløtbunnsfauna innsamlet omkring 1 måned etter at utslippet til Dyngadypet startet. En viss påvirkning på stasjonene nær deponiområdet kan derfor ikke utelukkes. Undersøkelsene etter 1984 er overvåkning av de biologiske forholdene på bløtbunn.

På alle stasjoner er det også tatt sedimentprøver for analyse av kornstørrelse, innhold av organisk stoff og av titan. Dette er parametre som er brukt til å vurdere om geografiske variasjoner og forandringer over tid er resultat av naturlige forhold eller nedslamming.

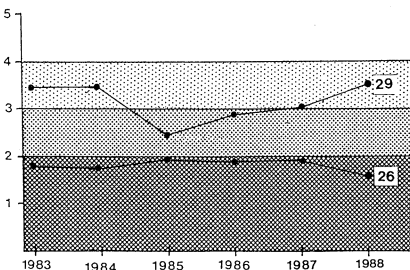
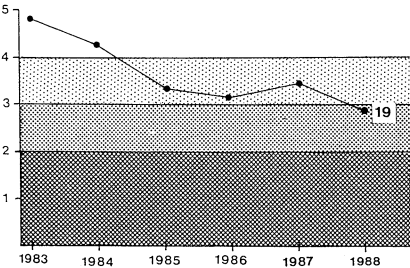
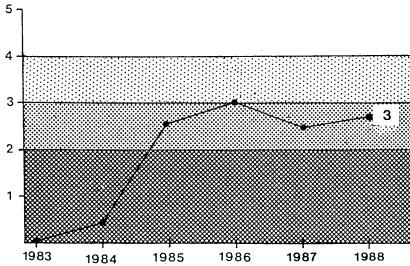
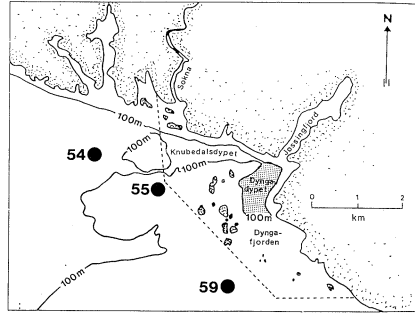
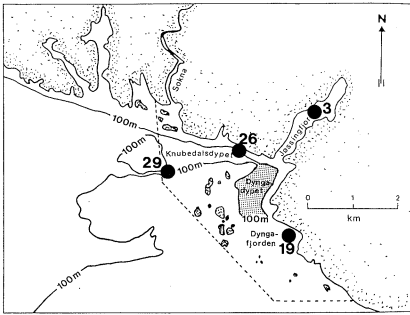
Stasjonsnettet på bløtbunn er gradvis utvidet fra 9 stasjoner i 1983 til 16 stasjoner i 1989, se figur 5. Det er ikke tatt prøver i deponiområdet, da en regnet med at nedslammingen her var så massiv at det ikke ville finnes makrofauna. Den stiplede linjen i figur 5 angir grenselinjen for forventet influensområde. Influensområdet ble antydnet av Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt, Miljøverndepartementet, Statens Forurensningstilsyn og Miljøplan i 1981 i forbindelse med vurdering av utslipp til Dyngadypet. Grensen ble i det vesentlige trukket som linjer langs terskler og grunne områder som omkranser Dyngadypet. Influensområdet var forventet hovedområde for sedimentering av gruveslam, og utenfor forventet influensområde skulle det ikke oppstå skader og ulemper av betydning.

#### *Sannsynlig virkning på bløtbunnsfauna*

Det var forventet at nedslamming ville gi fysiske forstyrrelser, hvor grad



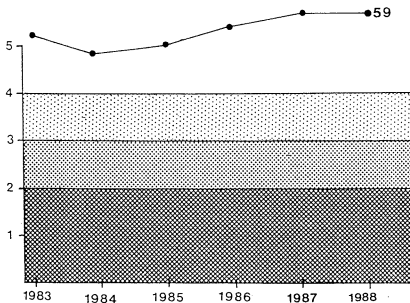
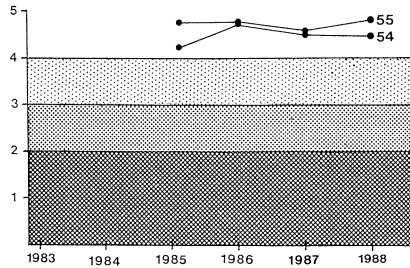
Figur 5. Stasjoner for undersøkelser av bløtbunnsfauna. Stiplet linje angir grenselinje for forventet influensområde (se tekst).



Figur 6. Diversitet ( $H'$ ) på st. 3, 19, 26 og 29 innenfor forventet influensområde.

Diversitet ( $H'$ )

- HØY
- ▨ MODERAT
- ▩ LAV
- SVÆRT LAV



Figur 7. Diversitet ( $H'$ ) på st. 54, 55 og 59 utenfor forventet influensområde.

av forurensningsvirkning ville variere fra fullstendig tildekking av bunnfauna til problemer med klogging av filterapparat og gjeller ved lavere sedimenterings hastighet.

Den fysiske endring av bunnsedimentet til et finere, mer homogent sediment med lavere innhold av organisk materiale kunne også føre til endring i bunnfauna og en reduksjon av antall arter. Partiklene i gruveavgangen har skarpere kanter enn naturlig sedimenterende materiale. Dette kunne tenkes å ha negativ effekt på bunnfaunaen.

## Resultater

### *Før deponering i Dyngadypet*

Basisundersøkelsene i 1983 og 1984 viste tydelig at bløtbunnfaunaen på st. 3, 26 og 29 var påvirket av det daværende grunne utslippet til Jøssingfjorden. På disse tre stasjonene var faunaen dominert av forurensningstolerante arter og diversiteten var redusert, se figur 6. Det ble påvist klart forhøyede verdier av  $TiO_2$  i bunnsedimentet på disse tre stasjonene. På de øvrige stasjonene ble det i 1983 og 1984 ikke påvist forurensningseffekter på bløtbunnfaunaen, selv om innholdet av  $TiO_2$  i bunnsedimentet på flere av disse stasjonene viste at gruveavgang var tilstede.

### *1985 — deponering gjennom 1 år*

Ved undersøkelsen i 1985 ble det påvist økt individtetthet av forurensningstolerante arter på st. 26 og st. 29 i Knubedaldypet. Markert endring fant sted på st. 19 i søndre del av Dyngafjorden. Her avtok antall arter, det ble påvist en klar økning i individtetthet hos flere forurensningstolerante arter og diversiteten avtok, se figur 6. Sam-

tidig økte innholdet av  $TiO_2$  i bunnsedimentet på disse stasjonene. På st. 3 inne i Jøssingfjorden ble det påvist økning i antall arter og diversitet i den svært artsfattige faunaen på de gamle avgangsmassene, se figur 6.

På stasjonene utenfor influensområdet ble det ikke påvist endringer i bunnfauna. Dette er vist med eksempler fra st. 54, 55 og 59 som alle har høy diversitet, se figur 7.

### *1986 — deponering gjennom 2 år*

I 1986 hadde antall arter avtatt ytterligere på st. 26 nærmest utslippet, og det ble påvist en viss økning i sedimentets innhold av gruveavgang. På st. 19 og 29 noe lengre unna deponiområdet var det bare små endringer i bunnfauna. På st. 3 inne i Jøssingfjorden fortsatte rekruttering av nye arter og diversiteten økte, se figur 6.

Utenfor influensområdet ble det på enkelte stasjoner påvist noe økning i innhold av gruveavgang, men det ble ikke påvist endringer i bunnfauna eller diversitet som kunne knyttes til økt nedslamming, se figur 7.

### *1987 — deponering gjennom 3 år*

I 1987 bestod overflatesedimentet (0—2 cm) på st. 19 og st. 26 av ca. 2/3 gruveavgang, mens gruveavgang utgjorde ca. 1/2-parten av overflatesedimentet på st. 29. Bunnfaunaen på disse tre stasjonene innenfor det forventede influensområdet var tydelig påvirket av gruveavgang, og hadde redusert diversitet. Det ble bare påvist mindre endringer i diversitet fra 1986 til 1987, se figur 6. Bunnfaunaen så ut til å tilpasse seg en jevn nedslamming.

På st. 3 inne i Jøssingfjorden hadde artsantallet i 1987 kommet opp i 34, mot



3 arter i 1983. Alle de viktigste fauna-gruppene på bløtbunn var nå representert i Jøssingfjorden 3 år etter at utslippet til fjorden opphørte.

På 4 av totalt 10 bløtbunnstasjoner utenfor forventet influensområde (st. 51, 55, 57 og 58) ble det nå påvist en gradvis økning av gruveavgang i bunn-sedimentene, uten påviselige effekter på bunnfaunaen. Dette tydet på at den økning i sedimenteringshastighet som tilførsel av gruveavgang utgjorde, var for liten til å påvirke bunnfaunaen i dette området.

Et mulig unntak var faunaen på st. 55, der gruveavgang i 1987 utgjorde ca. 1/4 av overflatesedimentet (0—2 cm). Objektive analyseteknikker som diversitet og likhetsanalyser viste ikke tegn til endring i bunnfauna. Derimot var det en økning i individtetthet av enkelte forurensningstolerante arter på denne stasjonen. Dette gjaldt bl.a. børstemarken *Heteromastus filiformis* og gruppen slimormer (Nemertini) som tidligere hadde vist økt individtetthet ved tiltagende nedslamming innenfor influensområdet. Det var i 1987 for tidlig å si om endringene i individtetthet på st. 55 hadde sammenheng med spredning av gruveavgang, eller skyldtes naturlige svingninger i bunnfauna.

#### *1988 — deponering gjennom 4 år*

På st. 19 og st. 26 ble det fra 1987 til 1988 påvist økning i sedimentets  $TiO_2$ -innhold, mens på st. 29 var innholdet av  $TiO_2$  uendret. Både på st. 19 og 26 ble det påvist økende påvirkning av bunnfauna og redusert diversitet, se figur 6. På st. 29 så det ut til være en viss bedring i bunnfaunaen med økning i artsantall og diversitet. På st. 3 i Jøssingfjorden ble det for første gang etter at utslippet her opphørte, påvist nedgang i antall arter,

som kunne tyde på økt forurensningsbelastning. Dette hadde trolig sammenheng med markert økning i utslipp av drensvann fra gruen i 1987 og 1988. Utslippet munner ut like ved st. 3.

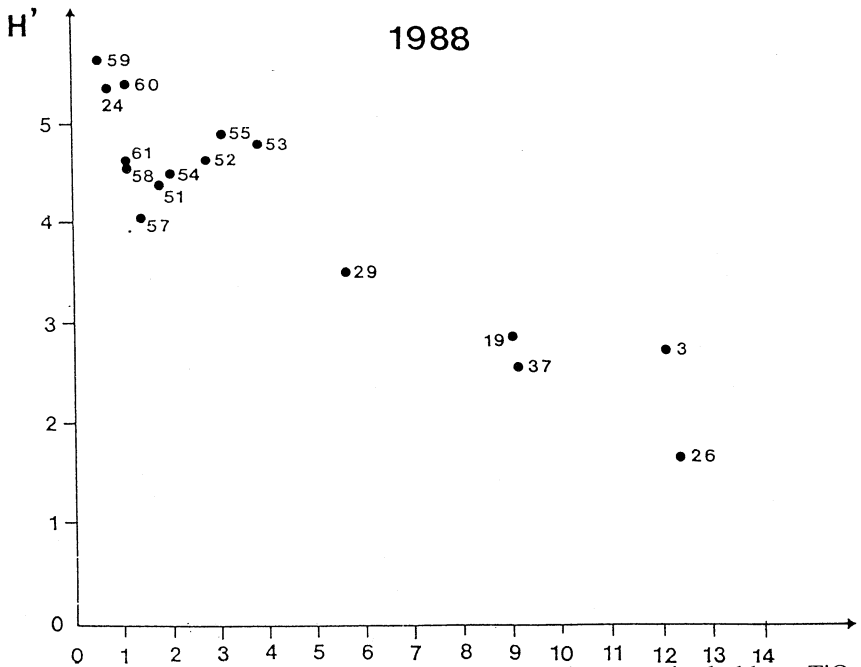
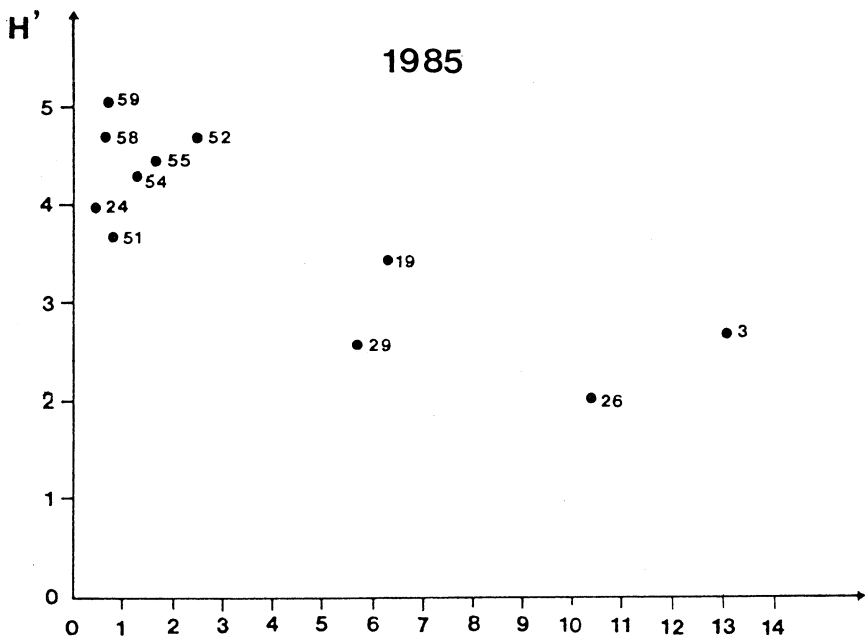
På st. 51, 55, 57 og 58 utenfor forventet influensområde ble det også i 1988 påvist noe økning i  $TiO_2$ -innhold uten at det kunne påvises endringer i bløtbunnsfauna som kunne knyttes til spredning av gruveavgang. De artene som i 1987 viste økt individtetthet på st. 55, var i 1988 tilbake på tidligere nivå. Dette tyder på at endringene påvist i 1987 hadde sammenheng med naturlige svingninger i bløtbunnsfaunaen og ikke skyldtes forurensningspåvirkning.

Totalt sett ble det i løpet av de 4 første årene med deponering i Dyngadypet påvist forverrede forhold på bløtbunn i Dyngafjorden og Knubedal-dypet, mens det ikke ble påvist negative effekter på bløtbunnsfaunaen utenfor det forventede influensområdet.

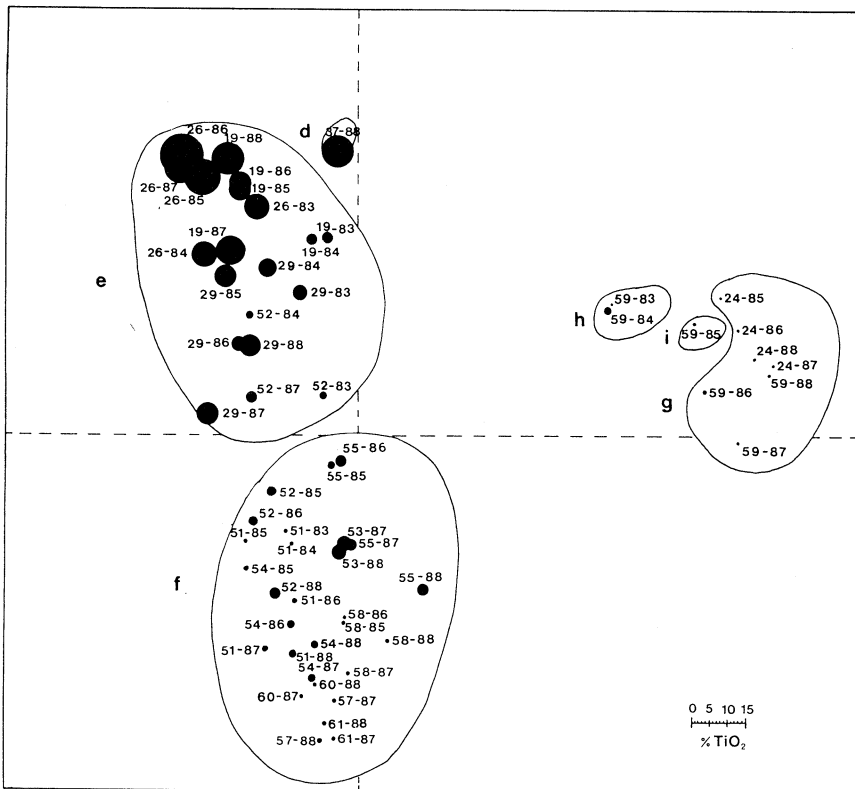
#### *Sammenheng mellom bløtbunnsfauna og forurensning*

Forholdet mellom sedimentets innhold av  $TiO_2$  og faunaens diversitet ( $H'$ ) i 1985 og 1988 er vist i figur 8. Som det fremgår er det i 1988 bare små endringer i forhold til det bildet som fremkom i 1985. Fortsatt er det st. 3, 19, 26 og 29, samt den nye st. 37, alle innenfor det forventede influensområdet, som har høyt  $TiO_2$ -innhold og lav diversitet.

Gruppering av stasjonene fra 1983 til 1988 ved hjelp av ordinasjon er vist i figur 9. Ordinasjon er en matematisk grupperingsteknikk som reduserer antall dimensjoner i en datamatrise slik at stasjoner med stor likhet i fauna plasseres nær hverandre og ulike lenger fra hverandre. Grunnlaget for figuren er artslistene fra samtlige stasjoner fra



Figur 8. Forholdet mellom diversitet ( $H'$ ) og sedimentets innhold av  $TiO_2$  (0–2 cm) i 1985 og 1988.



Figur 9. Gruppering av stasjoner ved ordinasjon. Stasjonene er grupper (d—i) på grunnlag av klassifikasjon. Andel TiO<sub>2</sub> i overflatesedimentet (0—2 cm) er antydnet ved størrelse av punktene som representerer stasjonene.

1983 til og med 1988. Dette gir en tidsse-  
reanalyse som belyser endringer i bløt-  
bunnsfauna i overvåkingsperioden.

Grupperinger som fremkom ved en  
annen likhetsanalyse, klassifikasjon, er  
innringet på figuren og angitt med  
bokstaver fra d til i. Grupperingene fra  
klassifikasjonsanalysen benyttes fordi  
klassifikasjon gir god separasjon av sta-  
sjoner. I figuren er innholdet av TiO<sub>2</sub> i  
bunnsedimentet på hver enkelt stasjon

angitt (andel TiO<sub>2</sub> fremgår av diameter  
på punktene, skala er vist nede til høyre  
i figuren). Dersom bløtbunnsfaunaen  
på en stasjon ble utsatt for økt nedslam-  
ming etter at utslippet til Dyngadypet  
startet i 1984, skulle en forvente økt inn-  
hold av TiO<sub>2</sub> i bunnsedimentet. Der-  
som dette hadde noen forurensnings-  
effekt, skulle en videre forvente en end-  
ring i faunasammensetning som ville  
bli oppdaget ved at stasjonen flyttet seg

innen ordinasjonsplottet (figur 9). Ved tydelig forurensning kunne en forvente at stasjonen ville bli flyttet over i en annen hovedgruppe.

Figuren viser at det er tre hovedgrupper av stasjoner. Disse er gruppe *e*, som inneholder st. 19, 26 og 29, og som alle ligger innenfor forventet influensområde. Sedimentet på stasjonene har høyt innhold av gruveavgang og en klart forurensningspåvirket fauna. Videre er det gruppe *f* som inneholder st. 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 60 og 61, alle utenfor forventet influensområde. Sedimentet har relativt lavt innhold av gruveavgang og en upåvirket bunnfauna. Den tredje hovedgruppen er gruppe *g* med st. 24 og 59. Stasjonene ligger grunt og har et grovt sediment. Det grove sedimentet gir opphav til en noe avvikende bunnfauna, men den er ikke påvirket av gruveavgang.

St. 52 skiller seg ut fra de øvrige stasjonene ved store naturlige variasjoner i sediments innhold av organisk stoff. I 1983, 1984 og 1987 ble det registrert endel rester av tare og løv i toppsedimentet og lukt av H<sub>2</sub>S. H<sub>2</sub>S virker som forurensning på bunnfaunaen, og disse årene finner man st. 52 i gruppe *e* sammen med de forurensningspåvirkede stasjonene innenfor forventet influensområde.

Ingen av de øvrige stasjonene utenfor forventet influensområde (gruppe *f*) har beveget seg over til gruppen av slampåvirkede stasjoner (gruppe *e*) innenfor forventet influensområde eller flyttet seg nærmere denne gruppen. Dette viser at faunaen på stasjo-

nene utenfor influensområdet ikke har vist økende grad av likhet med den slampåvirkede faunaen innenfor influensområdet i perioden 1984 til 1988.

### Oppsummering og konklusjoner

Undersøkelser av spredning og biologiske virkninger av gruveavgang ved Titania har bl.a. vist at:

- bløtbunnsfaunaen i Knubedalsdypet var påvirket av nedslamming av gruveavgang før dyputslippet til Dyngadypet startet i 1984
- i perioden 1984 til 1988 er bløtbunnsfaunaen i Knubedalsdypet blitt ytterligere påvirket. Deponeering i Dyngadypet har også medført forurensningspåvirkning av bløtbunnsfaunaen syd i Dyngafjorden
- på de stasjonene utenfor forventet influensområde hvor det er påvist økt andel gruveavgang i bunnsedimentene de siste årene, er det ikke funnet påvirkning av bløtbunnsfauna
- inne i Jøssingfjorden er det påvist rekolonisering på gamle avgangsmasser etter at utslippet til fjorden opphørte.

Resultatene fra de fysiske/kjemiske og biologiske undersøkelsene utenfor Titania tyder på at nedslamming i størrelsesorden cm/år gir klare endringer i bløtbunnsfauna i dette området, mens tilførsel av noen mm gruveavgang pr. år ikke gir påviselige effekter. Resultatene fra Jøssingfjorden tyder på at rekolonisering av sedimentet vil finne sted når utslippet en gang opphører.