

Grønnalger som forurensningsproblem i indre del av Sørfold. — En uventet effekt av vassdragsregulering i området?

Av Åge Mohus og Magne Haakstad

Begge er ansatt ved Nordland Distrikthøgskole i Bodø med fiskerifaglig forskning og undervisning som arbeidsoppgaver.

Åge Mohus er sivilingeniør fra NTH, 1973, linje for Teknisk Biokjemi. Magne Haakstad er cand.real. i oceanografi fra Univ. i Oslo, 1970.

1. INNLEDNING

Sørfold er den sørlige greina av den to-delte fold-fjorden (Folda) som trenger inn i landet like nord for Bodø (fig. 1). Sørfold kommune, som omkranser denne fjordarmen, har gjennomgått en del strukturendringer i løpet av de siste 10—15 åra. Endringene kan kort beskrives slik:

- Vassdragsreguleringer i nedslagsfeltet til fjorden (Siso-utbygginga).
- Industrialisering (etablering av ferrosilisium-produksjon ved Salten Verk) i Straumen-området, innerst i Sørfolda.
- Urbanisering og framvekst av det nye tettstedet *Straumen*.

Et betydelig forurensningsproblem av en noe uvanlig art tok til å utvikle seg parallelt med miljøendringene i Straumenområdet. I de siste 10 åra har fiskere og båtfolk i Sørfold kommune blitt stadig sterkere plaget av store mengder drivende «grønske» i fjorden, særlig i den indre delen. «Grønska» har gjort det

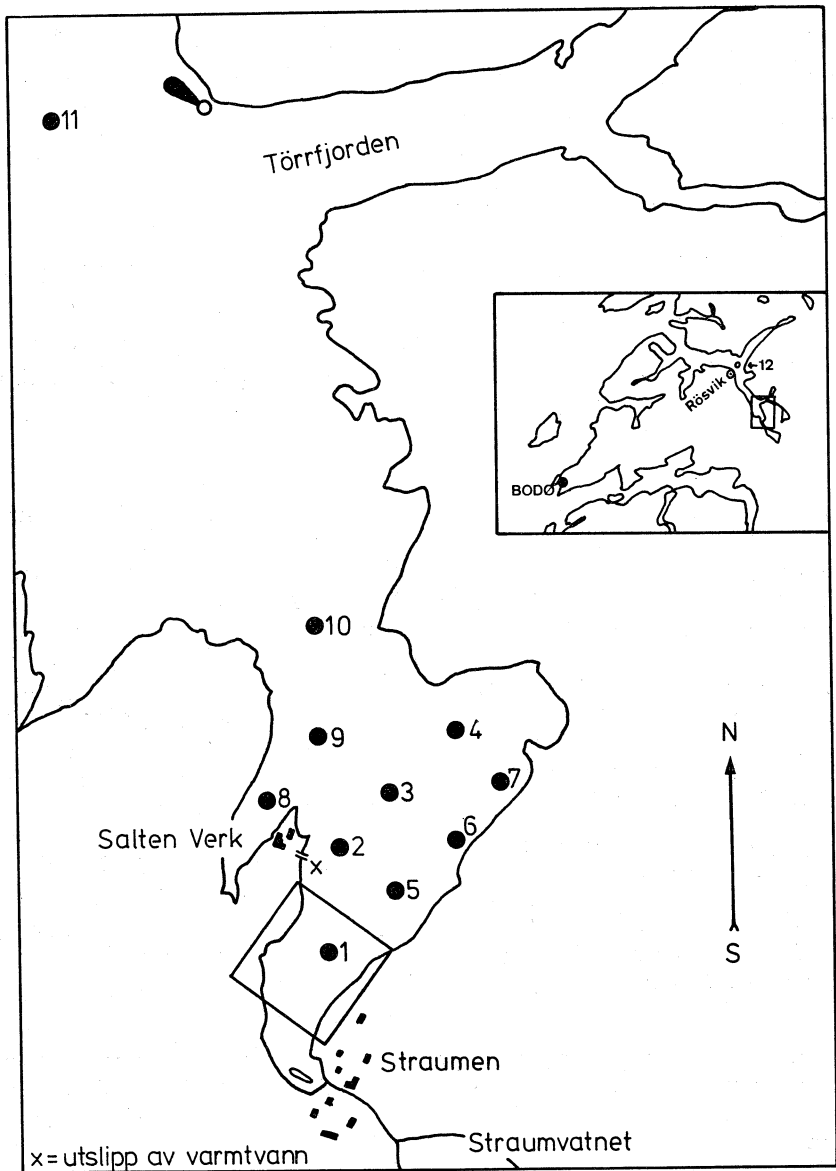
vanskelig å drive fiske med garn i store deler av fjorden om sommeren, og den skaffer dessuten båtfolk store problemer med fortøyningene.

Dette problemet med drivende grønnalger i fjorden har oppstått som en følge av en eller flere av de strukturendringene som er nevnt ovenfor. De fysiske og kjemiske forholdene i den indre delen av fjorden har endret seg, og disse endringene har i sin tur skapt grobunn for en storproduksjon av fastsittende grønnalger (*Enteromorpha intestinalis*) i Straumbukta innerst i Sørfolda.

Grovt anslått er den årlige produksjonen av «tarmgrønske» på de to avgrensede produksjonsfeltene i Straumbukta ca. 500 tonn våtvekt.

Det er sterk oppvekst av grønnalger på produksjonsfeltene på ettervinteren og våren. Deretter starter en omfattende løsriving av algene, og den stående biomassen minker utover sommeren og høsten.

Forurensningsproblemet er knyttet til denne løsrivinga og transporten av flytende «matter» av grønnalger ut i fjorden.



Figur 1. Hydrografiske stasjoner tatt fra F/F «Raud» i Sørfolda 1978. (Stasjon 12 er lokalisert nord av Røsvik.

«Grønka» henger seg på båtfortøyninger og fiskeredskap, eller hoper seg opp i fjæra på enkelte utsatte lokaliteter.

I 1977 fikk Nordland distriktshøgskole forespørsel om å utføre en undersøkelse i Sørfolda for å klarlegge bedre årsakene til den store grønnalgeveksten i Straumbukta. Oppdragsgiveren, Sørfold kommune ønsket en slik undersøkelse for bedre å kunne avklare ansvarsforhold samt gi grunnlag for en vurdering av tiltak mot forurensningsproblemet.

Det ble nedsatt en prosjektgruppe til å lede prosjektet, og NDH sa seg villig til å stille utstyr og fagpersonale til rådighet for en slik undersøkelse.

2. MILJØFAKTORER SOM HAR BETYDNING FOR ETABLERING AV FASTSITTENDE GRØNNALGER

Miljøforholdene for algene i Straumbukta bestemmes stort sett av følgende miljøfaktorer:

- Lysforhold
- Tilførsel av næringsalter (N, P)
- Temperatur
- Saltholdighet
- Strømforhold.
- Substrat (festeforhold)

De tre første av disse faktorene kan betegnes som *vekstfaktorer*. I produksjonssesongen er det alltid en av disse faktorene som virker begrensende på veksthastigheten til algene. Foruten at alle algetyper kjemper om en plass i *lyset*, så stiller den høye veksthastigheten som er mulig hos *Enteromorpha* spp., krav til god nitrat- og fosfattilførsel i produksjonssesongen. Det vil si at når lystilgangen

ikke lenger er vekstbegrensende, må tilførslene av næringsalter være gode for at algen skal kunne oppnå optimal veksthastighet. God utnyttelse av lys, næringsalter og temperatur i form av høy veksthastighet vil under slike forhold gi *Enteromorpha* spp. konkurransemessige fordeler i miljøet framfor andre algetyper (brunalger, f.eks.). Dette er en av de viktigste grunnene til at *Enteromorpha intestinalis* og andre medlemmer av familien Ulvaceae vanligvis er å finne på lokaliteter med god N- og P-tilførsel (nær kloakkutslipp, etc.).

E. intestinalis er en meget nøysom art når det gjelder krav til *saltholdighet* og *substratkvalitet* (feste-muligheter). *E. intestinalis* er dessuten en såkalt euryhalin art som tåler store *fluktuasjoner* i saltholdigheten. Dette gir viktige konkurransemessige fordeler framfor brunalger i brakkvannområder nær elvemunninger, hvor saltholdighetene kan være lave og variere en del i takt med tidevannet. (2).

E. intestinalis setter en øvre grense for strømbelastning som ikke må overskrides, ellers blir grønnalgen vasket bort (revet løs fra substratet). Strømbelastningene på områdene innerst i Straumbukta ser ut til å være en viktig faktor for *avgrensning* av produksjonsområdene for grønnalger.

3. FELTUNDERSØKELSENE

I løpet av året 1978 ble det gjennomført sju tokt med NDH's forskningsfartøy «Raud» til Sørfolda. Tabell 1 viser hvilke observasjoner som ble tatt på hvert tokt. Stasjonsnett er vist i figur 1. Det ble i tillegg til disse stasjonene tatt prøver fra de viktigste tilførselsårene til Straumbukta.

Tabell 1. Toktprogram til Sørfolda med F/F «Raud».

Tokt nr.	Dato	Hydrografi	Strøm-måling	Planze-nærings-salter	Kloro-fyll	Plank-ton	Coli
1	25/1-78	x		x	x	x	x
2	21/3-78	x		x	x	x	
3	13/4-78	x		x	x	x	x
4	18/5-78	x		x	x	x	
5	7/8-78	x		x	x	x	x
6	21/9-78	x		x	x	x	x
7	9/11-78	x	x	x	x	x	x

3.1. Hydrografiske forhold.

Som det fremgår av figur 1, er bukta godt dekt når det gjelder hydrografi.

De hydrologiske forhold viste et typisk estuarint mønster. Det eksisterte hele tiden en saltholdighetsstyrt pyknoklin som varierte både med hensyn til dybde og skarphet. I middel lå denne pyknoklinen på ca. 1 meters dyp.

På grunnlag av stasjonene 2, 3, 4, 5 og 6 er middel saltholdighet og middel temperatur beregnet for hvert dyp.

Temperaturen følger en normal årssyklus. Ved en minste kvadraters metode er en sinuskurve tilpasset middeltemperaturene i henholdsvis overflate, T_1 , og bunnvannet i bukta, T_2 (7 m).

Tiden, t , regnes i dager fra nyttår.

$$T_1 = 6,78^\circ\text{C} - 4,35^\circ\text{C} \cdot \sin\left(\frac{360^\circ \cdot t}{365} + 57^\circ\right)$$

$$T_2 = 6,63^\circ\text{C} - 1,71^\circ\text{C} \cdot \sin\left(\frac{360^\circ \cdot t}{365} + 30^\circ\right)$$

På grunn av de variable forhold er forskjellen på høyeste og laveste observerte verdi betraktelig høyere enn det dobbelte av beregnet amplitude.

Overflata:

$$T_{\max} - T_{\min} = 12,3^\circ\text{C}$$

$$T_{\max} - T_{\min} = 6,3^\circ\text{C}$$

Saltholdigheten viste liten årstidsvariasjon med et ferskt overflatelag med midlere saltholdighet på 21,2 ‰ og standardavvik på 4,5 ‰ og et saltare bunnskikt (7 m) på 33,1 ‰ og standardavvik på 0,7 ‰.

3.2. Strømforhold.

Strømmen ble målt både med drivlegemer og med strømmålere. På grunn av at bukta er relativt vid og grunn, er det store variasjoner i strømmen både geografisk og i tid.

Overflatelaget ned til ca. 1 meter beveger seg stort sett ut av bukta med en gjennomsnittshastighet på ca. 10 cm/s. De største hastighetene opptrer langs dypålen i bukta, men det er store variasjoner avhengig av vindforholdene. Beregninger ut fra det foreliggende observasjonsmaterialet antyder en oppholdstid på 3—18 timer for ferskvannet som tilføres bukta.

Sirkulasjonsmønsteret er typisk estuarint, men det er store variasjoner. I gjennomsnitt transporterer den utgående over-

flatestrømmen en vannmengde som er 3—5 ganger så stor som ferskvannstilførselen. Denne vannmengden kommer inn i bukta med kompensasjonsstrømmen mellom 1 meters dyp og bunnen.

De foreliggende strømmålingsseriene er for korte til å bestemme tidevannskomponentene, men amplituden for det halvdaglige tidevannet ble estimert til 3—8 cm/s, avhengig av månefasen.

Tabell 2. Oversikt over den relative betydning av forskjellige tilførsler av N og P til Straumbukta over året. Tallene er oppgitt i kg/døgn av NO₃-N og PO₄-P.

	STRAUMELVA		GRIMSELVA		KOMPENSASJONSSTRØM		KLOAKK, STRAUMEN		KLOAKK, SALTEN VERK		KJØLEVANN, SALTEN VERK	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
JAN	83	<6	4	0.2	450	71	8.4	2.1	1.7	0.35	4.0	0.60
FEB			"	"			"	"	"	"		
MAR	150	<10	"	"	1100	120	"	"	"	"	4.9	0.9
APR	150	<10	"	"	560	140	"	"	"	"	1.1	0.48
MAI	130	<9	"	"	460	100	"	"	"	"	<0.3	<0.3
JUN			"	"			"	"	"	"		
JUL			"	"			"	"	"	"		
AUG	74	<7	"	"	<37	44	"	"	"	"	0.66	<0.3
SEP	76	<9	"	"	160	63	"	"	"	"	0.90	0.42
OKT			"	"			"	"	"	"		
NOV	58	<6	"	"	140	74	"	"	"	"	1.6	0.78
DES			"	"			"	"	"	"		

3.3. Tilførsler av næringsalter.

Tabell 2 gir en oversikt over de totale tilførslene av nitrat-nitrogen (N) og fosfat-fosfor (P) til Straumbukta over året. Tallene baserer seg på analyser av nitrat og fosfat i filtrerte vannprøver fra tilførsel-årene. Som det går fram av denne tabellen, er det den såkalte «kompensasjonsstrømmen» som bidrar mest med næringsalter til Straumbukta i produksjonsesongen for alger; dernest tilførslene via den vannrike Straumelva.

Kompensasjonsstrømmen er betegnelsen på den innstrømmingen av sjøvann i de underliggende vannlag som skjer til erstatning for den sterke utstrømmingen av ferskvann og medrevet sjøvann i overflatelaget. (Jfr. punkt 3.2.).

Kloakk-tilførslene til Straumbukta ser ikke ut til å yte særlig store bidrag til næringsaltskonsentrasjonene i Straumbukta. Kloakken vil raskt fordele seg i det utstrømmende overflatelaget p.g.a. tetthetsforholdene. Oppholdstida i bukta blir dermed svært kort. (Jfr. punkt 3.2.).

3.4. Primærproduksjon.

Primærproduksjonen, det første trinn på næringskjeden i fjorden, omfatter fritt-svevende planteplankton (diatomeer og flagellater) og fastsittende alger (hovedsakelig brunalger og grønnalger innenfor familiene Fucaceae og Ulvaceae, henholdsvis).

Figur 2 er en skisse av et flyfoto som dekker det feltet som er avmerket med et kvadrat i nedre del av figur 1. Denne figuren viser omfanget av produksjonsfeltene for grønnalger i indre del av Straumbukta i slutten av april måned. De skraverte feltene omfatter ca. 30 dekar, og den totalt stående biomassen (i slutten av april) kan estimeres til ca. 170 tonn

våtvækt. Utover sommeren minker denne stående biomassen, ved at algene løser og driver ut fjorden og ved at nyproduksjonen avtar.

Det ser ut som denne produksjonen av grønnalger inne i bukta begrenses av de samme faktorer som begrenser planktonproduksjonen i bukta og ellers i fjorden; dvs. tilgangen på N og P. Dette indikerer at kompensasjonsstrømmen av sjøvann inn i bukta er en viktigere N, P-kilde til grønnalgene enn husholdningskloakk.

Figur 3 viser hvordan klorofyllinnholdet i vannmassene på en stasjon i Straumbukta varierer over året i takt med variasjonene i N og P. (Klorofyllinnholdet er blitt bestemt fluorimetrisk).

Ved utløpet av juni måned er vårblomstringen av plankton stort sett kullminert som følge av begrensning i tilførselen av N og P.

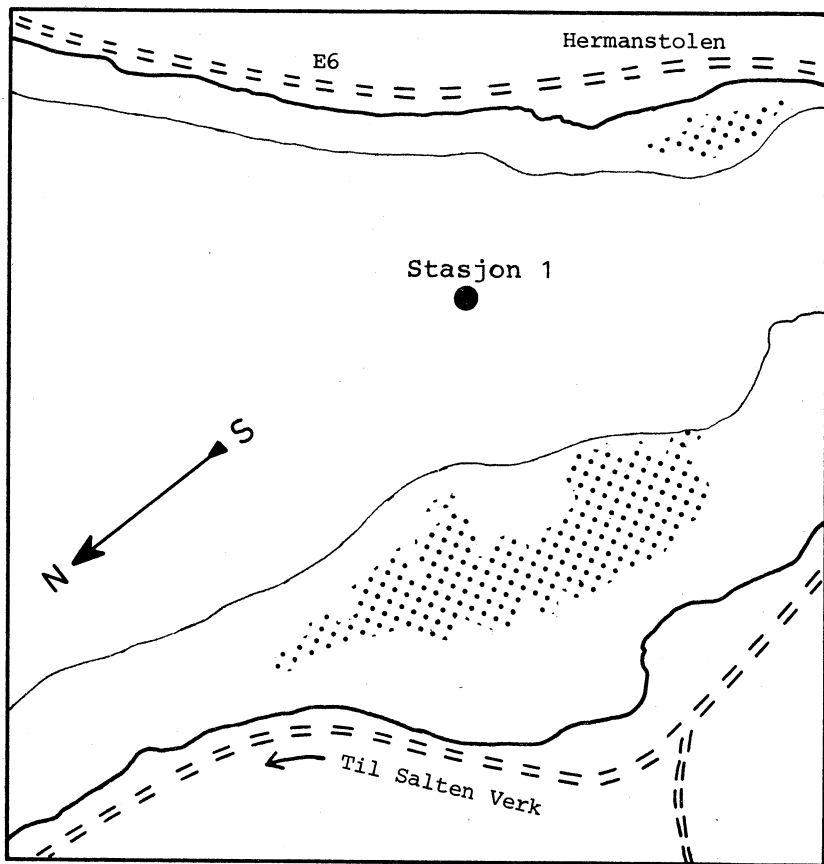
4. HVILKE MILJØENDRINGER I OMRÅDET HAR FREMKALT GRØNNALGEPROBLEMET?

Kraftutbygginga i Sørfold kommune, Siso-utbygginga, er en nokså omfattende regulering av en del større vann i høyfjellet med det store Siso-vatnet som hovedmagasin. Utbygginga har ført til at store ferskvannsmengder som tidligere fant sitt utløp til Tørrfjorden (fig. 1), i dag tilføres Straumbukta via Straumvatnet og Straumelva. Straumbukta har dermed etter denne reguleringa fått en betydelig økning i ferskvannstilførselen.

Denne ferskvannstilførselen er nå temmelig *konstant* over året. Straumelva var tidligere preget av betydelig sesongvariasjon i vannføring med lav vintervannføring og en kraftig flomperiode på forsommeren som følge av snøsmeltinga i fjellet. Denne sistnevnte endringa, utjamning av

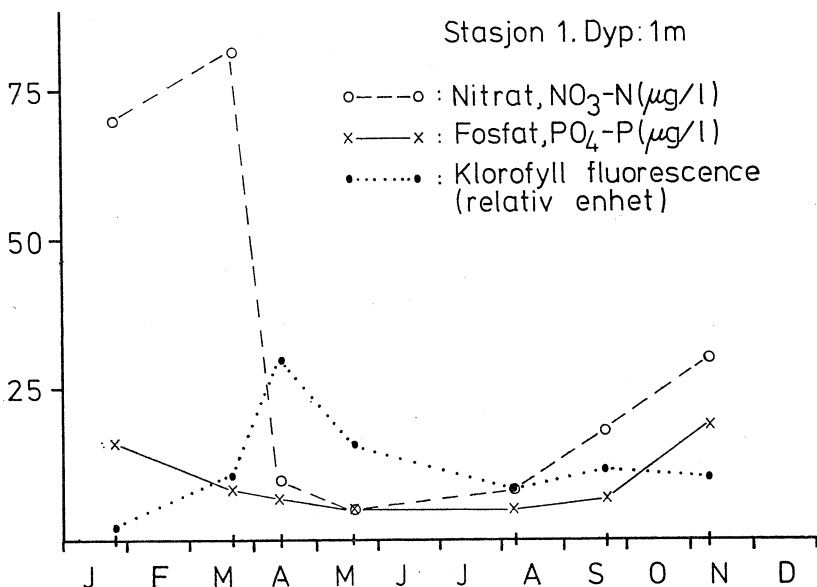
vannføringa over året, er en meget viktig endring, som vi snart skal komme tilbake til.

Miljøforholdene i Straumbukta er også til en viss grad blitt påvirket av industrialiseringa i området med påfølgende ut-



Figur 2. Skisse av flyfoto fra en del av Straumbukta. (Området er avmerket med en rute i fig. 1). Skissen viser hvor de viktigste produksjonsområdene befinner seg.

- === : vei
- : strandlinje (høyvann)
- - - : strandlinje (lavvann)
- : vekstområde for grønnalger
-



Figur 3. Utviklingen i næringsstoffsaltkonsentrasjonen og plankton-tettheten på en feltstasjon i Straumbukta.

bygging av tettstedet Straumen. Salten Verk slipper ut oppvarmet kjølevann til Straumbukta. (Utslipssteden er markert i fig. 1). Kjølevannet er sjøvann som tas inn ca. 5 m under laveste lavvann og slippes ut like under overflaten. Kjølevannsmengden ligger på 0,22—0,28 m³/s avhengig av produksjon ved verket, og temperaturen ligger normalt ca. 10°C over temperaturen i Straumbukta. Dette varmtvannsutslippet sammen med økt overflatestrøm har blant annet bidratt til at Straumbukta ikke lenger er fullstendig islagt om vinteren.

Tettstedet Straumen er i dag administrasjonssentrum i Sørfold kommune med et folketall på ca. 700. Dette representerer en 10-folds økning sammenlignet med folketallet for ca. 15 år siden. Kloakk-

utslippene fra dette tettstedet har selvfølgelig økt betydelig, men som nevnt tidligere, vil denne kloakken raskt bli fordelt ut i fjorden p.g.a. den store ferskvannsgjennomstrømminga i Straumbukta. Prøver tatt nær kloakkutløpene, viser bakteriologisk sett drikkevannskvalitet på vannet på disse lokalitetene (i nedre del av Straumelva og ved stasjon 1).

Hvordan har så disse miljøendringene i området påvirket miljøforholdene for grønnalger? En må da gå tilbake til miljøfaktorene, listet opp under punkt 2, og se på hvordan disse er blitt påvirket av endringene.

Lysforhold:

Starten på grønnalgeoppblomstringen i området tyder på at lysmengden er til-

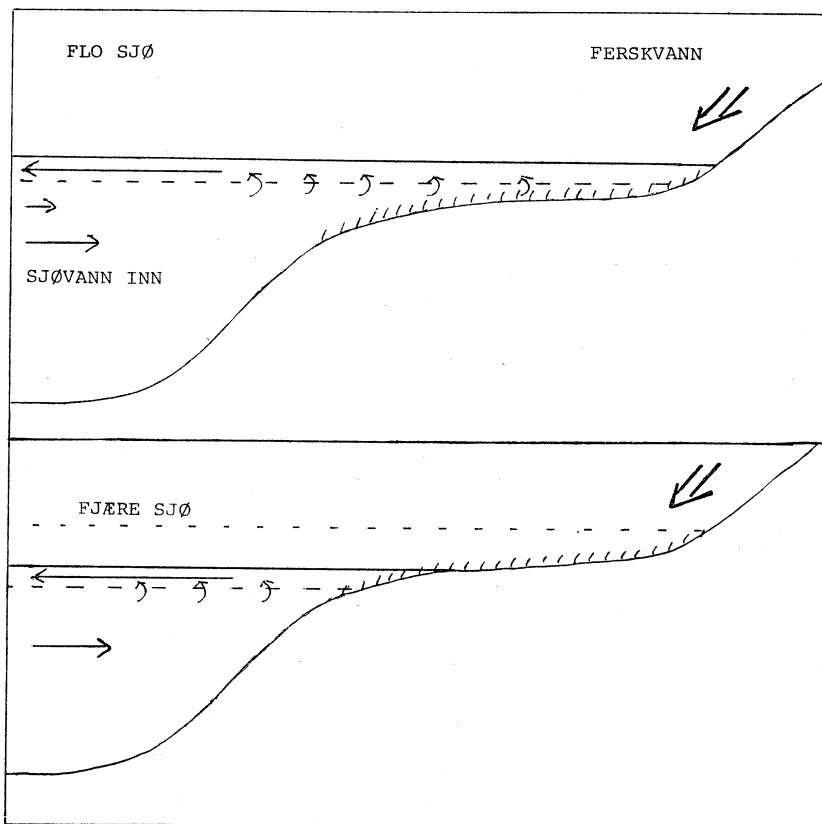
strekkelig for produksjonsstart på grønnalgefeltene omkring 20. februar. Før endringene skjedde i området, var det vanlig med total islegging av Straumbukta, og denne isen kunne ligge til ut i mars måned. Isen kunne dermed tidligere gi skyggelegging og virke forsinkende på en eventuell produksjonsstart.

Tilførsel av næringsalter (N, P):

Tabell 2 viser at kompensasjonsstrømmen inn i bukta til erstatning for de store mengdene av ferskvann og medrevet sjø-

vann som strømmer ut av bukta, er den viktigste tilførselsåren for plantenærings-saltene, nitrat og fosfat, til bukta i produksjons sesongen for grønnalgene.

Denne innstrømminga av næringsrikt sjøvann er i hovedsak en respons på ferskvannsutstrømminga fra Straumelva. Siden ferskvannstilførselen i dag er betydelig høyere enn før og i tillegg konstant over året, fører dette til en tilsvarende stor og konstant innstrømming av sjøvann til bukta.



Figur 4. Skjematisk framstilling av hvordan innstrømmende sjøvann og utstrømmende ferskvann vekselvis overstrømmer grønnalgefeltene i takt med tidevannet. (Grønnalgefeltet er merket med skravering, //|||).

Straumelva er heller ikke uten betydning når det gjelder å forsyne Straumbukta og de fastsittende algene der med nitrat og fosfat. Sjø om ferskvannet ikke har spesielt høye konsentrasjoner av disse stoffene, fører de store vannmengdene til god tilførsel av næringsstoffer til de fastsittende organismene.

Figur 4 viser skissemessig hvordan grønnalgefeltene i bukta blir oversvømmet av vann fra kompensasjonsstrømmen og Straumelva på flo og fjære sjø, henholdsvis.

Grønnalgefeltene i Straumbukta blir altså tilført N og P i tilstrekkelige mengder på ettervinteren og våren når lystilgangen ikke lenger begrenser algeproduksjonen. Senere utover sommeren avtar produksjonen p.g.a. lavere innhold av N og P i vannmassene, spesielt i sjøvannet. (Jfr. fig. 3 og punkt 3.3.). Grønnalgeproduksjonen inne i bukta styres altså av de samme faktorene som styrer planktonproduksjonen i fjorden utover sommeren, nemlig innholdet av N og P i *sjøvannet*.

Før kraftutbygginga var ferskvannstilstrømminga til bukta betydelig mindre. Vannføringa i Straumelva var spesielt lav på ettervinteren og våren. Som tidligere nevnt ga dette grunnlag for islegging i bukta til langt ut i mars. Den viktigste følgen av denne lave vannføringa var imidlertid at bukta fikk tilsvarende beskjeden tilførsel av sjøvann fra fjorden utenfor. De områdene som i dag er godt begrodd med grønnalger, fikk altså ikke tilstrekkelig tilførsel av fjordvann før etter at vårfloppen satte inn på forsommeren. På dette tidspunkt var imidlertid innholdet av N og P i dette fjordvannet på rask vei nedover (jfr. fig. 3). Mangel på kontinuerlig tilførsel av N og P må derfor kunne sies å være en av de viktigste årsakene til at grønnalger ikke fant vekstmulig-

heter i Straumbukta før reguleringa av Siso-vassdraget.

Temperatur:

Temperaturforholdene i Straumbuka bestemmes av følgende faktorer:

- generell sjøtemperatur
- ferskvannstemperatur
- ferskvannstilførsel
- utstråling/innstråling
- varmtvannsutslipp.

Temperaturforholdene i bukta har endret seg en del som følge av endringene i ferskvannstilførselen og utslippet av oppvarmet kjølevann fra verket. Disse to endringene kan til en viss grad sies å ha motvirket hverandre.

Det er vanskelig å fastslå hvilken betydning endringene i temperaturforholdene har hatt for grønnalgeveksten. Det som imidlertid kan påvises er at det varme kjølevannet har et tetthet som fører til at det fordeler seg i overflatelaget's nederste del. Dette fører til at varmeinnholdet i dette vannet hovedsakelig fordeler seg i vannmassene, og lite varme tapes ved direkte utstråling fra overflata. I den grad tempererte vannmasser blandes inn i kompensasjonsstrømmens øvre lag, kan disse stryke over produksjonsfeltene for grønnalger på den øvre halvdel av tidevannssyklusen. Effekter av varmtvannet kunne spores helt inne på stasjon 1, på ett tokt. (Jfr. fig. 1). Dette kan ha betydning for veksthastighet og dermed konkurransedyktighet for grønnalgene i forhold til brunalger, uten at dette på noen måte kan fastslås med sikkerhet. Temperatur-effekten kan rett og slett være for liten til å ha noen direkte biologisk betydning. Varmtvannsutslippet vil likevel indirekte innvirke på algeproduksjonen ved å bidra til redusert islegging i Straumbukta.

Saltholdighet:

Enteromorpha intestinalis tåler lave saltholdigheter og store variasjoner i saltholdigheten. (Jfr. punkt 2). Dette gir denne algen betydelige konkurransemessige fordeler i et brakkvannsområde hvor saltholdigheten svinger i takt med tidevannet. Saltholdighetsforholdene i Straumbukta kan dermed sies å ha endret seg betydelig til fordel for fastsittende grønnalger som *E. intestinalis*. Ferskvannstilførselen er økt betydelig. Av brunalger er det kun *Fucus vesiculosus* som til en viss grad konkurrerer med *E. intestinalis* om etablering inne i bukta. På produksjonsområdene svinger saltholdigheten fra tilnærmet ferskvann ved lavvann til opp imot 30‰ ved flo.

Strømforhold:

På store deler av strandområdene innerst i Straumbukta er sannsynligvis strømbelastningene så store i visse intervaller av tidevannssyklusen at grønnalger ikke får anledning til å etablere seg. Mye tyder på at det er strømforholdene som

har størst betydning når det gjelder å «tegne konturene» til de to produksjonsfeltene for grønnalger i Straumbukta.

Substrat:

E. intestinalis er kjent for å stille svært beskjedne krav til substratkvaliteten (festeforholdene), mens brunalger derimot krever nokså fast og stabil bunn. Bunnforholdene i Straumbukta hvor algene gror, er dominert av løs leirbunn hvor brunalger vanskelig finner stabilt feste. Altså nok et forhold som favoriserer grønnalgene.

Salten Verk har gjort noen forsøk på å begrense grønnalgefeltene ved oppfylling med kvartssingel på et begrenset område. Flyfoto over området viser tydelig at dette har hatt virkning. Brunalger (*F. vesiculosus*) har etablert seg på denne kvartsfyllingen og fortrent grønnalgene.

Salten Verk i samarbeid med kommunen har nå planer om å følge opp disse forsøkene i håp om at det skal være mulig å fortrenge grønnalgene fullstendig på denne måten.

LITTERATUR

1. *Mohus, A & Haakstad, M.*: «Vekstbetingelser for alger i indre del av Sørfolda», NDH, Bodø (1979).
2. «Literature survey of the common flora of estuaries: *Enteromorpha* sp.», Imperial Chem. Industries Ltd., Brixham Lab., Brixham, England (1967).