

O-86130

Tilgroing i
Otra nedstoms Brokke
Problemanalyse og forslag om tiltak



NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Hovedkontor
Postboks 333
0314 Oslo 3
Telefon (02) 23 52 80

Sørlandsavdelingen
Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041) 43 033

Østlandsavdelingen
Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065) 76 572

Vestlandsavdelingen
Breiviken 2
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05) 25 97 00

Prosjektnr.:	0-86130
Undernummer:	
Løpenummer:	1997
Begrenset distribusjon:	

Reportens tittel:	Dato:
TILGROING I OTRA NEDSTRØMS BROKKE Problemanalyse og forslag om tiltak.	18.06.1987
	Prosjektnummer:
	0-86130
Forfatter (e):	Faggruppe:
Bjørn Rørslett	Vassdrag
	Geografisk område:
	Aust-Agder
	Antall sider (inkl. bilag):
	40

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
Valle kommune	

Ekstrakt:
<ul style="list-style-type: none">● Det er en massiv begroing av vannvegetasjon i Otra, fra utløpet av Brokke kraftverk til nedstrøms Straume bru. Vegetasjonen dekker nå omlag 55% av elvebunnen på denne strekningen.● Krypsiv (<i>Juncus bulbosus</i> L.) utgjør nær 100% av den observerte vegetasjonen. Omfanget av de begroede arealene har økt fra midten av 1970-åra og fram til i dag.● Krypsiv-plantene i Otra viser ikke tegn på økt næringstilførsel som kan stamme fra jordbruk, bo-setting osv. Dette betyr at forurensning kan utelukkes som forklaring på den økte veksten.● Vassdraget er naturlig preget av noe sure vannmasser. Økende forsuring av noen betydning er ikke påvist i perioden etter 1972, og kan ikke ha vært årsak til den økte veksten av krypsiv.● Årsaker til de oppståtte problemer er miljøendringer som følge av reguleringer i Otra, f.eks. - økt vintervannføring, økt vanntemperatur vinterstid, manglende islegging● Tiltak for å begrense veksten må sees i samband med planene om Hekni kraftverk - og kan ikke detaljeres uten en omfattende konsekvensanalyse av denne utbyggingen.

4 emneord, norske:

1. Vassdragsregulering
2. Makrovegetasjon
3. Tilgroing
4. Otra

4 emneord, engelske:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Prosjektleder:



For administrasjonen:



ISBN 82-577-1246-9

0-86130

TILGROING I OTRA NEDSTRØMS BROKKE

PROBLEMANALYSE OG FORSLAG OM TILTAK

Saksbehandler: Bjørn Rørslett
Medarbeidere : Marit Mjelde
Stein W. Johansen
Carol A. Brewer
For administrasjonen: Bjørn A. Faafeng

FORORD

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har i lang tid vært opptatt av Otra og de mange problemer som bl.a. forurensninger, sur nedbør og vassdragsreguleringer har skapt og kan skape i dette vassdraget. Den foreliggende undersøkelse av tilgroingsproblemene i Otra nedstrøms Brokke kraftverk føyer seg således inn i en rekke problemorienterte studier foretatt av NIVA.

I den aktuelle sak er fokus satt på omfang og årsak til en sjenerende tilgroing med vannvegetasjon. Et vidt spektrum av metoder og angrepsmåter er brukt for å komme fram til svar på dette. NIVAs saksbehandler har vært fil.dr. Bjørn Rørslett. DH-kand. Marit Mjelde har utført målinger av plantevekst på flybilder og sammen med programmerer Terje Hopen stått for endel EDB-baserte, tekniske beregninger. Cand. scient. Stein W. Johansen, Avdeling for limnologi, Universitetet i Oslo, har utført kjemiske analyser av plantemateriale. Forøvrig assisterte Carol A. Brewer, M.Sc., ved feltarbeidet.

Ved gjennomføringen av denne undersøkelsen har NIVA hatt et givende samarbeid med flere representanter for Valle kommune; teknisk sjef Hallvard Homme og konsulent Torjus Upstad.

Opplysninger om Hekni-utbyggingen er gitt av seksjonsleder Arthur Myhra, Aust-Agder Kraftverk (AAK), overing. Olav Mosdøl (I/S Øvre Otra) og overing. Ivar Tveitan (Ing. A.B. Berdal A/S). Alle takkes for hjelpsomhet og vilje til å løse diverse uklarheter i løpet av undersøkelsen.

Det er forsøkt å unngå "fagspråk" så langt som mulig, men noen ord og uttrykk er ikke til å komme forbi. Bakerst i rapporten finnes en liste med ordforklaringer som jeg håper kan være til nytte.

Bjørn Rørslett

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

Avsnitt	Side
KONKLUSJONER	1
SAMMENDRAG	2
1 INNLEDNING	4
2 VANNKVALITET OG HYDROLOGISKE FORHOLD	5
2.1 Områdebeskrivelse og foretatte reguleringsinngrep	5
2.2 Planlagte utbygginger	6
2.2.1 Brokke Sør og Nord	6
2.2.2 Hekni	6
2.3 Vannkvalitet i Otra - generelt	7
2.4 Forsuring	7
2.5 Hydrologiske forhold	9
2.5.1 Dagens situasjon	9
2.5.2 Korttidsreguleringer	11
2.5.3 Is- og temperaturforhold	11
2.5.4 Hekni-utbyggingen - hydrologiske endringer	11
2.5.5 Vannstandsvariasjoner i Otra : Straumefjorden	12
3 VANNVEGETASJON	15
3.1 Feltobservasjoner	15
3.2 Krypsiv: egenskaper og særtrekk	16
3.3 Krypsiv: forskjeller i forekomst på ulike lokaliteter	18
3.4 Kjemisk analyse av næringsstoffer i plantevev	19
3.5 Nisjeromsanalyse	21
3.6 Utvikling gjennom tid	24
4 PROBLEMANALYSE OG MULIGE TILTAK	30
4.1 Utløsende årsak - sammenfattende diskusjon	30
4.2 Mulige tiltak	33
ORDFORKLARINGER	38

KONKLUSJONER

- Det er en massiv begroing av vannvegetasjon i Otra, fra Nomeland (utløp Brokke kraftverk) til nedstrøms Straume bru. Vegetasjonen dekker nå omlag 55 % av elvebunnen på denne strekningen.
- Planten krypsiv (*Juncus bulbosus* L.) utgjør nær 100% av den observerte vegetasjonen. Denne begroingen er helt forskjellig fra den i terskelbassengene, f.eks. ved Valle. I terskelbassengene forekommer torvmoser (*Sphagnum*-arter), fløtgras (*Sparganium angustifolium* Michx.) og blærerot (*Utricularia*-arter) i langt større mengde enn krypsiv.
- Problemene med tilgroing startet samtidig med regulering av øvre Otra. Omfanget av de begrodde arealene har økt fra midten av 1970-åra og fram til i dag. Endringene i forekomst av vegetasjon er dokumentert med et omfattende flybildemateriale.
- Krypsiv-plantene i Otra viser ikke tegn på økt næringstilførsel som kan stamme fra jordbruk, bosetting osv. Dette betyr at forurensning kan utelukkes som forklaring på den økte veksten.
- Vassdraget er naturlig preget av noe sure vannmasser. Økende forsuring av noen betydning er ikke påvist i perioden etter 1972, og kan ikke ha vært årsak til den økte veksten av krypsiv.
- **Årsaker til de oppståtte problemer er miljøendringer som følge av reguleringer i Otra, og antas hovedsaklig å være:**
 - økt vintervannføring
 - økt vanntemperatur vinterstid
 - manglende islegging
 - redusert sommervannføring og flomdemping
 - i noen grad også tilslamming m.v. fra tunnelarbeidene
- Tiltak for å begrense veksten må sees i samband med planene om Hekni kraftverk - og kan ikke detaljeres uten en omfattende konsekvensanalyse av denne utbyggingen.

Særskilte program for disse undersøkelsene bør utarbeides snarest mulig. NIVA kan antyde at Hekni-utbyggingen i verste fall kan føre til sterkt øket forekomst av vegetasjon, både oppstrøms såvel som nedstrøms Straume bru.

SAMMENDRAG

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har undersøkt tilgroing av Otra, konsentrert om forholdene nedstrøms Brokke kraftverk. Oppdragsgiver for undersøkelsen var Valle kommune i økonomisk samarbeid med I/S Øvre Otra.

NIVAs undersøkelse tok sikte på å finne årsaken(e) til økte vekst av vannplanter i Otra nedstrøms Brokke kraftverk. Denne veksten oppgis å medføre betydelige ulemper og sjenanse ved bruk av vassdraget til fiske, bading og fritidsaktiviteter. Man har også sluttet å bruke elva som landingsplass for småfly av samme årsak.

En kraftig vekst av planten krypsiv (*Juncus bulbosus* L.) finnes i Otra på flere elvestrekninger, hvorav området fra Brokke til Straume bru tilhører de mest overgrodde. Fra Rysstad til Straume ("Straumefjorden") er omlag 55% av elvebunnen dekket av tette plantebestand. Dette er en usedvanlig høy verdi for prosentvis dekning av vannvegetasjon.

Undersøkelsen viser at reguleringene i Otra og driften av Brokke er utløsende årsak til de oppståtte problemene. Årsaksforholdet er meget godt dokumentert bl.a. ved analyse av flybilder før og etter konstruksjon av Brokke kraftverk, hydrologisk analyser, og måling av næringsstoffmengder i plantene. Det er også foretatt sammenlikninger med andre vassdrag og innsjøer med krypsiv, hvor regulering og/eller forsuring ikke gjør seg gjeldende.

Ved kraftproduksjonen i vassdraget skapes det en ikke naturlig forekommende miljøkombinasjon, kjennetegnet ved høy vintervannføring og vannstand kombinert med redusert eller manglende islegging. Krypsiv, en art med svært fleksible vekstkrav, kan klare seg under disse nyskapte forholdene. Arten fantes fra før i Otra-vassdraget, men har nå fått helt uvanlig gunstige vekstvilkår.

Tiltak mot den økende vekst av krypsiv må sikte på å endre de gunstige vekstvilkårene planten nå har. Skal dette være mulig samtidig med at full kraftproduksjon opprettholdes, må nye og til dels uprøvde metoder tas i bruk. Det er ikke tilrådelig å initiere slike tiltak uten å ha et bedre kunnskapsgrunnlag. Derfor bør det startes et forsknings- og utredningsprosjekt med siktemål å prøve ut bekjempingsmetoder i stor skala.

Tiltak for å begrense veksten kan ikke vurderes uten å trekke inn den

planlagte utbyggingen av Hekni kraftverk og de konsekvenser denne utbyggingen får på den berørte elvestrekningen. Hekni-utbyggingen innebærer bl.a. at:

- det skapes et reguleringsmagasin (elvemagasin) som får teoretisk oppholdstid på 7-8 timer og et volum på mer enn 2.3 mill. m³.
- vannstandshevingen i dette magasinet blir omkring 0.25m ved median vannføring (Rysstadøyni) og langt større ved lavere vannføring, opp til ca. 1m ved laveste registrerte vannføring (dagens vannstand som utgangspunkt).
- hevingen vil sette areal som nå er helt vegetasjonsfrie under vann, noe som igjen kraftig øker erosjonsfaren i magasinet.

Det hydrologiske grunnlagsmaterialet for reguleringsmagasinet er ikke tilstrekkelig for detaljert analyse av forholdene etter utbyggingen. Derfor kan det bare gjøres en foreløpig vurdering av endringer i vegetasjonen som følge av Hekni-prosjektet. For vannvegetasjonen i Otra nedstrøms Brokke kan Hekni-utbyggingen bety at

- vekstforholdene bedres generelt for flerårige vannplanter. Dette begunstiger i særlig grad krypsiv.
- større areal enn i dag kan koloniseres av vannplanter.
- krypsiv kan forekomme på dypere vann enn i dag (gjelder spesielt i det nye reguleringsmagasinet fra Straume bru og ned mot inntaksdammen).

Generelt sett kan det forventes nye områder med problematisk vekst av vannplanter, spesielt i Otra etter utløpet fra Hekni kraftverk (Bygland kommune). Slike problemstillinger lå utenfor rammen av NIVAs oppdrag.

1 INNLEDNING

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har undersøkt omfang og årsak til begroing i Otra nedstrøms Brokke kraftverk. Oppdragsgiver er Valle kommune, i et økonomisk samarbeid med I/S Øvre Otra.

Valle kommune, i brev av 23. september 1986, ba NIVA om programforslag til en undersøkelse av tilgroingen i Otra nedstrøms Brokke kraftverk, med hovedvekt på elvestrekningen Rysstad - Straume bru. Undersøkelsen skal klarlegge årsaker til den uønskede vekst av vannplanter. Kommunen nevner i dette brevet flere mulige faktorer som årsak til problemene,

- regulering (herunder temperaturendring)
- forurensning (kloakkvannstilførsel, gjødsel fra landbruk)

NIVA sendte programforslag 31. januar 1986, hvor ytterligere én faktor

- effekt av sur nedbør

ble satt opp som mulig årsak. Instituttet foreslo at Tovdalsvassdraget kunne brukes som referanselokalitet for begroing i Otra, siden dette vassdraget er upåvirket av reguleringer og klimatisk/geologisk sett tilhører en region som ikke er vesensforskjellig fra Setesdal. Flyfotografering av den aktuelle elvestrekningen ble foreslått for å dokumentere tilgroingsomfanget.

Valle kommune godkjente programforslaget i brev av 30. mai 1986. Flybilder ble tatt 6. august av Norsk luftfoto og fjernmåling A/S. NIVA utførte deretter feltarbeidet i området høsten 1986. NIVAs erfaringer fra andre vegetasjonsundersøkelser i Otra-vassdraget er trukket inn ved bearbeiding av datamaterialet. Slike undersøkelser er utført i de fleste innsjøer og reguleringsmagasin tilknyttet hovedvassdraget. Det meste av dette arbeidet stammer fra midten av 1970-åra og er rapportert av f.eks. Hvoslef (1985), Rørslett & medarb. (1978, 1981) og Rørslett (1984, 1985, 1986). Den tidligste undersøkelsen er fra Kilefjord på 1960-tallet (Rørslett, 1967).

I et brev av 16. januar 1987 ber Valle kommune NIVA å inkludere mulige konsekvenser av Hekni-utbyggingen i vegetasjonsrapporten. Forutsetning var at oppdragets økonomiske ramme ikke ble overskredet. Den foreliggende rapport søker å ta med konsekvensene av Hekni-prosjektet så langt det var mulig innen denne rammebetingelsen.

2 VANNKVALITET OG HYDROLOGISKE FORHOLD

2.1 Områdebeskrivelse og foretatte reguleringsinngrep

NIVAs undersøkelse er konsentrert om Otra på strekningen fra Nomeland (utløp fra Brokke kraftverk) til Straume bru. En kartskisse over området er vist på fig.1. Elva har et fall på omlag 3m fra Nomeland ned til Rysstad (ca. 2km). Derfra er fallet mindre, omkring 0.3m ved vannføring $80\text{m}^3/\text{s}$, ned mot Straume bru (ca. 5km). Den stilleflytende strekningen, Rysstad - Straume, er i denne rapporten omtalt som "Straumefjorden". Etter Straume renner Otra i vekslende fall ned til Ose ved Åraksfjorden.

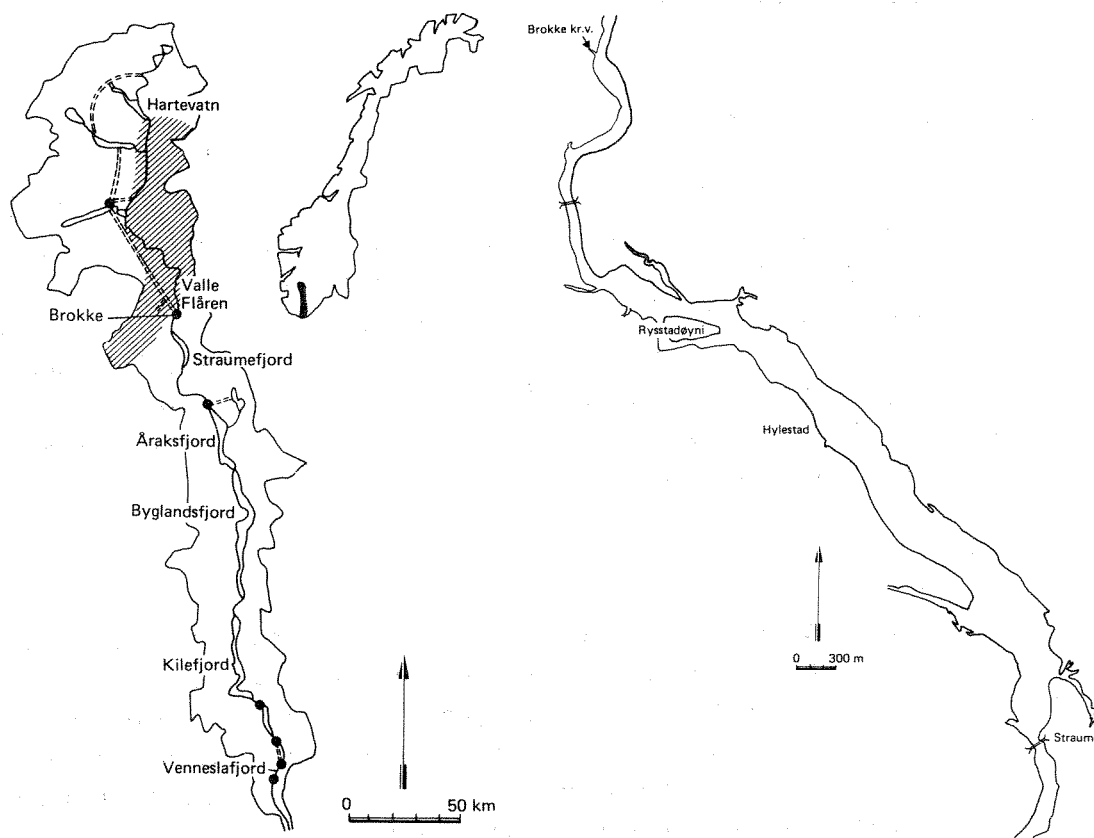


Fig.1. Undersøkelingsområdet. Oversiktskart med større reguleringsinngrep avmerket (venstre): kraftstasjoner (fylt sirkel), overført felt (skravert), tunneler (stiplet).

Høyre: strekningen Brokke til Straume.

Brokke kraftverk utnytter magasiner høyere opp i Setesdal. Magasinert vann tas inn i tunnel ved Botsvatn ca 30km lenger opp i dalen. Fra Bykil (v. Bykle) og fordi Valle renner Otra med pålagt minstevannføring. Ved Valle VM er denne 5 m³/s om sommeren og 2 m³/s om vinteren. Midlere vannføring ved Brokke er oppgitt til omkring 85 m³/s (Egerhei, 1984: 84 m³/s; AAK, 1985: 85.1m³/s). Tidsperioden som denne midlere vannføringen er beregnet for, framgår imidlertid ikke av de tilgjengelige kildene.

Otra er relativt godt undersøkt såvel hydrokjemisk som biologisk gjennom en rekke år. For detaljer henvises til overvåkingsrapporter utarbeidet for Statens forurensningstilsyn (SFT) - en liste over disse er gitt i Lande & Grande (1986).

2.2 Planlagte utbygginger

2.2.1 Brokke Sør og Nord

Flere planer for videre utbygging av vannkraftressurser i området finnes. Brokke Sør og Nord er beskrevet i Egerhei (1984) og Holtan & Lingsten (1986). Disse prosjektene, som er innbyrdes uavhengige, vil bety overføring av vann fra Setesdalsheiene sør for Brokke og lenger nord-nordøst inn til Brokke-anlegget. For Otra på den undersøkte strekningen nedstrøms Brokke, betyr Brokke Sør en svak økning av midlere vannføring (ca 2m³/s), mens Brokke Nord ventes ikke å bety noen endring hydrologisk sett (Holtan & Lingsten 1986).

2.2.2 Hekni

Hekni skal utnytte fall i Otra mellom Straume og Langeid. Samlet nyttbart fall på denne strekningen utgjør omkring 38.5m (AAK 1985). Det etableres en sperredam ved Grosjøyren. Herfra overføres Otra i tunnel til kraftstasjonen, som får utløp ved Langeid. Det vil gå minstevannføring i restvassdraget, men størrelse av minstevannføring er ikke bestemt. Terskelbygging er også aktuelt (AAK 1985).

For NIVAs undersøkelse av tilgroingsproblemene er Hekni-prosjektet av stor betydning fordi planene innebærer etablering av et reguleringsmagasin ca. 8km langt. Dette magasinet vil forlenge den nåværende stille elvestrekningen fra Rysstad til Straume ("Straumefjorden") med omkring 3 km. De hydrologiske konsekvensene av dette blir utdypet i et senere avsnitt (s. 12).

2.3 Vannkvalitet i Otra - generelt

Hydrokjemisk er Otra preget av næringsfattige, svakt sure vannmasser. Gjennomsnittsverdier for elvestrekningene opp- og nedstrøms Brokke er gitt i tab.1.

I følge Egerhei (1984) og Boman & medarb. (1984) har minstevannstrekningen forbi Valle noe høyere nivå av næringssalter, bl.a. fosfor, men må fortsatt karakteriseres som klart næringsfattig og relativt lite belastet. Vannet som tilføres gjennom Brokke-anlegget tappes fra høyereliggende magasiner med generelt noe gunstigere vannkvalitet (mindre surt), jfr. Wright (1984) og Holtan & Lingsten (1986). Pga. av stor variasjon i vannkjemi gjennom året, f.eks. i samband med snøsmelting, flom osv., er det imidlertid ingen påvisbar statistisk forskjell mellom strekningen ovenfor og nedenfor Brokke, se tab. 1. Se også diskusjon om forsuring i et senere avsnitt (kap. 2.4).

Tabell 1. Vannkvalitet i Otra - kjemiske parametre fra det Statlige overvåkingsprogrammet. Verdier gitt som gjennomsnitt for årene 1981-84 (± st.avvik). St.koder som anvendt i SFT-programmet.

		Valle (564)	Nedstrøms Brokke (535 Ose bru)
Surhetsgrad	pH	5.96 ± 0.32	5.78 ± 0.35
Sp. ledningsevne	κ_{25} mS/m	1.89 ± 0.47	1.51 ± 0.27
Total fosfor	P mg/m ³	5.3 ± 7.2	4.5 ± 3.3
Total nitrogen*	N mg/m ³	290 ± 105	300 ± 120

* avrundet i hht. analysenøyaktighet

2.4 Forsuring

Sur nedbør påvirker Otra-vassdraget og kan medføre en pH-senking (Wright, 1984). Omfanget og betydningen av dette er imidlertid langt fra klarlagt. Siden forsuring kan være en viktig utløsende årsak til begroing er alt tilgjengelig datamateriale fra NIVAs tidligere undersøkelser (Rørslett & medarb., 1978, 1981) og Statlig program for overvåking bearbeidet særskilt. Eldre data og data fra lokale kilder (dvs. målt ved Brokke) er ikke tatt med av årsaker nevnt nedenfor.

Data innsamlet ved det statlige overvåkingsprogrammet er stilt sammen i tab. 2 og sammenliknet med NIVAs data fra perioden 1972-77. Det er valgt å ta med såvel surhetsgrad (pH) som spesifikk ledningsevne (κ_{25}).

Tabell 2. Tidsutvikling i pH og sp.ledningsevne i Otra ovenfor og nedenfor Brokke kraftverk, 1972-85. Årlige gjennomsnitt (\pm st.avvik).

Kilde og periode	Surhetsgrad pH		Spesifikk ledningsevne* κ_{25} mS/m	
	Valle	Nedstr.Brokke	Valle	Nedstr.Brokke
NIVA 1972 (n=28)-77	5.98 \pm 0.28	5.75 \pm 0.26	1.85 \pm 0.49	1.37 \pm 0.30
SFT 1981	6.00	5.95	1.75	1.47
" 1982	6.03	5.81	1.96	1.55
" 1983	5.84	5.68	1.98	1.50
" 1984	5.91	5.63	1.84	1.54
" 1985	5.68	5.78	1.55	1.41
SFT 1981 (n=85)-85	5.93 \pm 0.33	5.78 \pm 0.37	1.85 \pm 0.47	1.50 \pm 0.27

* eldre data regnet om fra 20°C og enhet μ S/cm (faktor 0.11) til ny standard, κ_{25} med enhet mS/m.

Av tab. 2 kan man trekke følgende slutninger:

- det er ikke påvist noen statistisk sikker endring for verken pH eller sp.ledningsevne fra 1972-77 til 1981-85.
- pH er gjennomgående 0.2 enheter høyere ved Valle enn nedstrøms Brokke. Denne forskjellen har holdt seg gjennom alle år.
- tilsvarende gjelder at Valle viser litt høyere sp.ledningsevne enn Otra nedstrøms Brokke.

Vurdert under ett er de påviste forskjellene av marginal betydning. Bak gjennomsnittsverdier skjuler det seg imidlertid ganske store årstidsvariasjoner som kunne vært bedre dokumentert enn det som gjøres i det statlige program for overvåking. Brå nedgang i pH ved snøsmelting kan skape ugunstige forhold for fisk, men betydningen av slike pH-episoder er ikke kjent for vannvegetasjon. Tettere observasjonsserier av vannkvalitet ville bedre ha belyst betydningen såvel som omfanget av episoder med lav pH.

Vi har tidligere dokumentert at det eksistererte betydelige forskjeller mellom pH-målinger foretatt av NIVA og I/S Øvre Otra (Brokke kraftverk), jfr. Rørslett & medarb. (1981). Det samme forhold er påvist av LFI (Saltveit, 1983). Siden det er her tale om tilfeldig forekommende feil av til dels meget betydelig størrelse er det umulig å komme fram til noen form av "kalibrering" mellom lokalt utførte målinger og målinger gjort av f.eks. NIVA eller LFI. Det er all grunn til å gjenta Saltveits oppfordring (Saltveit, 1983: 11) om å få bedre kontroll og koordinering av lokale vannkvalitetsmålinger.

2.5 Hydrologiske forhold

2.5.1 Dagens situasjon

Vannførings- og vannstandsdata fra Hovet vannmerke like nedenfor utløpet fra Brokke kraftverk (NVE: VM 1508 Brokke) er bearbeidet for åra 1965-80. Tidsoppløsning i data er ett døgn (døgnmidler). Vannmerket har begrenset overføringsverdi til elvestrekningen Rysstad - Straume når det gjelder vannstandsendringer. Derfor vil data fra dette vannmerket bare bli brukt til å karakterisere vannføringsregimet etter utløpet av Brokke (tab. 3).

De hydrologiske forhold på strekningen nedstrøms Brokke før regulering kan vurderes ut ifra Valle vannmerke (NVE: VM 536 Valle). Data i form av døgnmidler for åra 1945-63 er bearbeidet. Bidrag fra sidevassdrag er ikke tatt med. Fårani som nå tas inn på Brokke-tunnelen har en beregnet midlere vannføring på ca. 5 m³/s. I følge "Hydrologiske undersøkelser i Norge" hadde Valle VM et midlere årsavløp (40 år) på 2560 mill. m³/år tilsvarende omlag 81 m³/s.

Tabell 3. Karakteristiske vannføringer (avrundete verdier) for Otra nedstrøms Brokke før og etter regulering. Beregnet fra døgnmidler. Sidevasdrag ikke inkludert (kan gi opp til 5% usikkerhet for perioden 1945-63).

		1945-63	1965-80
		Før	Etter regulering
Midlere vannføring	\bar{q} =	78	77 m ³ /s
Median vannføring	\tilde{q} =	49	62 m ³ /s
St. avvik vannføring	$\hat{\sigma}$ =	72	54 m ³ /s
Minste døgnverdi	q_{\min} =	4	2 m ³ /s
Største døgnverdi	q_{\max} =	625	627 m ³ /s

Midlere vannføring for 1965-80 er omkring 10% lavere enn verdiene i AAK (1985) og Holtan & Lingsten (1986), jfr. s.6. Medianverdien og standardavviket viser at den statistiske fordelingen av vannføringer er høyreskjev. Persentilfordeling (ukemidler) gjennom året er gitt på fig. 2. Regnet om til aktuelle vannstand (H) på vannmerket, tilsvarer den observerte variasjonsbredden i vannføring (for alle år) en vannstandsending på ca. 2.8m ifølge NVEs kalibreringskurver.

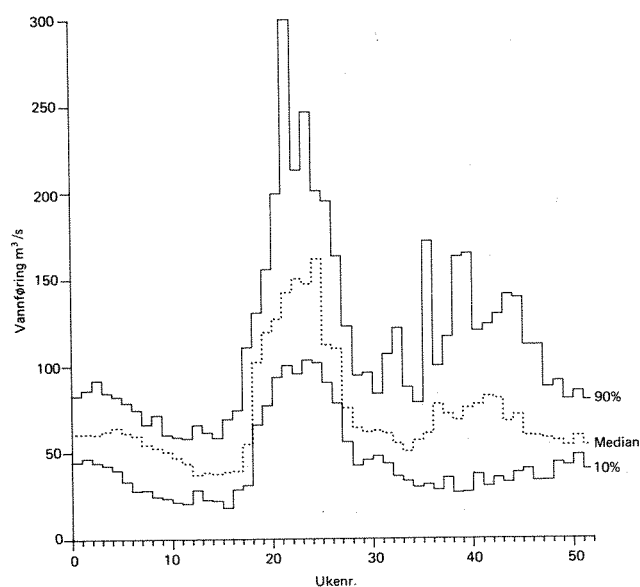


Fig. 2. Persentilfordeling vannføring ved VM 1508 Brokke for perioden 1965-80. Basert på ukemidler (median på ukemidler kan avviker noe fra median beregnet fra døgnverdier).

2.5.2 Korttidsreguleringer

Driften av Brokke medfører til dels store variasjoner i vannføringen ut fra kraftverket. NIVA har fått adgang til kontinuerlige registreringer av vannføring ved Brokke for året 1986, gjort av I/S Øvre Otra. Fordi registrerings-skjemaet ikke var tilpasset kurveleserprogrammer på NVE, har vi nøyd oss med å se på minimums- og maksimumsverdier innen hvert døgn. Utsagnskraft til denne forenklete analysen er selvsagt noe begrenset.

Døgnvariasjoner på 50 m³/s og mer har forekommet i 5-10% av tida. Store svingninger innen døgnet er registrert, men er likevel forholdsvis sjeldne. Eksempelvis har døgnvariasjoner over 200 m³/s forekommet 2 ganger og over 100 m³/s 5-6 ganger (noe forbehold om begrenset nøyaktighet ved avlesning av registreringsdata).

Korttidsendringene i vannføring og dermed vannstand i Otra nedstrøms kraftverket gir indirekte en økt økologisk stressbelastning. Fordi NVE ikke leverer data med tilstrekkelig høy tidsoppløsning er det vanskelig å kvantifisere betydningen av slike kortvarige endringer.

2.5.3 Is- og temperaturforhold

Nedstrøms Brokke går Otra nå isfri hele året. Vanntemperaturen vinterstid ligger rundt 3 °C. Sent på vinteren kan temperaturen gå ned mot 1 °C ved Straume (Tvede, 1982).

Sommerstid ligger vanntemperaturen på den aktuelle strekningen mellom 10 og 15 °C (Rørslett & medarb. 1981). I terskelbassengene oppstrøms Brokke (ved Valle) kan vanntemperaturen stige til over 20 °C om sommeren (Rørslett & medarb. 1981; Boman & medarb. 1984).

2.5.4 Hekni-utbyggingen - hydrologiske endringer

Konsesjonssøknaden fra AAK om Hekni-utbyggingen inneholder en vurdering av hydrologiske endringer ved dette reguleringsinngrepet (AAK 1985, bilag 1). Grunnlaget for denne vurderingen er vassdragets energipotensial, noe som er vesensforskjellig fra en biologisk orientert hydrologisk behandling. Derfor kan skjevheter oppstå ved bruk av slike energimessige vurderinger utenfor det tilsiktede bruksområdet. Dette har klare konsekvenser for den foreliggende problemanalyse. NIVA ønsker å trekke fram følgende momenter som belyser dette forholdet:

- 1) Søknaden har (s. 16) angitt en "midlere vannføring gjennom året i Otra ved Straume". Det framgår ikke av teksten at dette er middel-

verdier av simulerte vannføringer (ved Valle vannmerke, for åra 1935-65) med bakgrunn i de reguleringsreguleringene som nå er konsesjonsgitt til I/S Øvre Otra. Denne "middelkurve" er selvfølgelig noe ganske annet enn vassdragets vannføring gjennom en periode av tilsvarende lengde, bl.a. fordi ekstremene i vannføring er utjevnet.

2) Det anføres i konsesjonssøknaden (s. 15) at "Utbyggingen av Hekni medfører ingen etablering av nye magasiner". Dette utsagnet er misvisende. Ved Hekni-utbyggingen vil det tvertimot skapes et reguleringsmagasin på strekningen Grjosøyren opp til Rysstad -Bjørgumsevja. I følge søknaden (s. 18) vil det etableres et "magasin på ca. 1.7 mill. m³ i inntaksbassenget mellom dammen og Straume bru" (uthevet her). I tillegg kommer volum av oppstuet vann ovenfor Straume. Basert på framgangsmåten som søker har anvendt for volumberegning nedenfor Straume bru ($V=A \cdot \Delta H$ ved $q = 85 \text{ m}^3/\text{s}$, bekreftet av A.Myhra, AAK) får man her ytterligere ca. 0.62 mill. m³. Tilsammen utgjør det nye magasinet ca. 2.3 mill. m³. Oppholdstiden i dette magasinet er i størrelsesorden 7-8 timer.

2.5.5 Vannstandsvariasjoner i Otra : Straumefjorden

Registrering av vannføring (og dermed vannstand) ved Hovet kan ikke uten videre overføres til den sakteflytende strekningen fra Rysstad og ned til Straume bru ("Straumefjorden"), fordi vannstandene her bestemmes av lokal topografi. Ved en utbygging av Hekni vil dessuten oppstuing, manøvrering av inntaksmagasinet og driftsvariasjoner mellom Brokke og Hekni bidra til spesielle variasjoner i vannstand uavhengig av vannføringen ved Brokke/Hovet.

Hekni-søknaden (AAK 1985) beskriver generelle trekk ved oppstuing av vann i det nye inntaksmagasinet til Hekni kraftverk. Basert på data fra Ing. A.B. Berdal A/S (bakgrunnsdata for søknadens fig.2) og de observerte vannføringene ved Brokke/Hovet 1965-80, er vannstandsvariasjonene i magasinet vurdert før og etter Hekni-utbygging. Data fra de lokale vannmerkene i området viser at hydrologiske forhold øverst i magasinet (Rysstad) best korrelerer til VM 1508. Vår analyse av vannstand før/etter Hekni er derfor basert på vannmerkene ved Rysstad og Bjørgumsevja. Det er ikke tatt hensyn til mulige hydrauliske transienter i magasinet ved driftsvariasjoner kraftverkene imellom. Med de foreliggende sparsomme data om magasinet kan vi heller ikke beregne virkninger av korttidsreguleringene som følge av Brokkes manøvrering. Det er valgt å presentere utelukkende vannstandsdata. Årsak til dette er at vannstandsvariasjoner (og vanndekket areal) er mer interessante for botaniske problemstillinger enn vannføring. Det kan vises (f.eks. Rørslett, 1984) at median vannstand er grensen mellom land- og vannmiljøet.

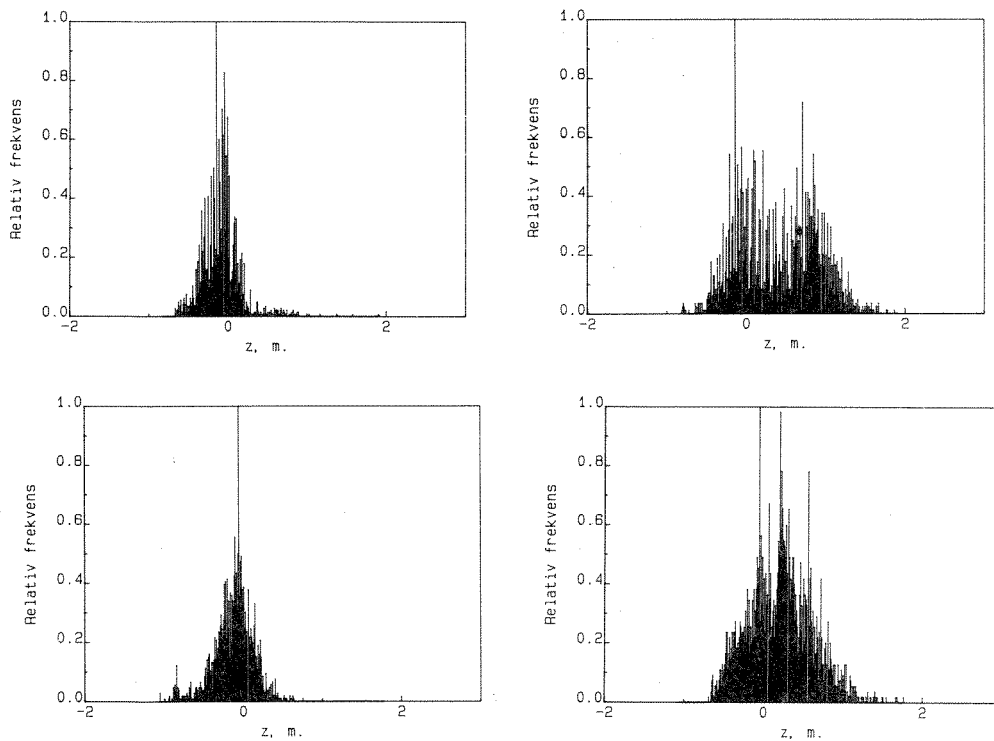


Fig. 3. Beregnet sannsynlighetsfordeling $p(z)$ for Straumefjorden før regulering (1945-63, øverst) og etter regulering (1965-80, nederst). "Vinter" (uke 1-16, 48-52) til venstre, "sommer" (uke 17-40) til høyre.

Vertikal koordinat $z=0$ er medianvannstand ($+z$ er over, $-z$ under dette referansenivået). Kurvene for 1965-80 er forskjøvet tilsvarende forskjell i median (nederst).

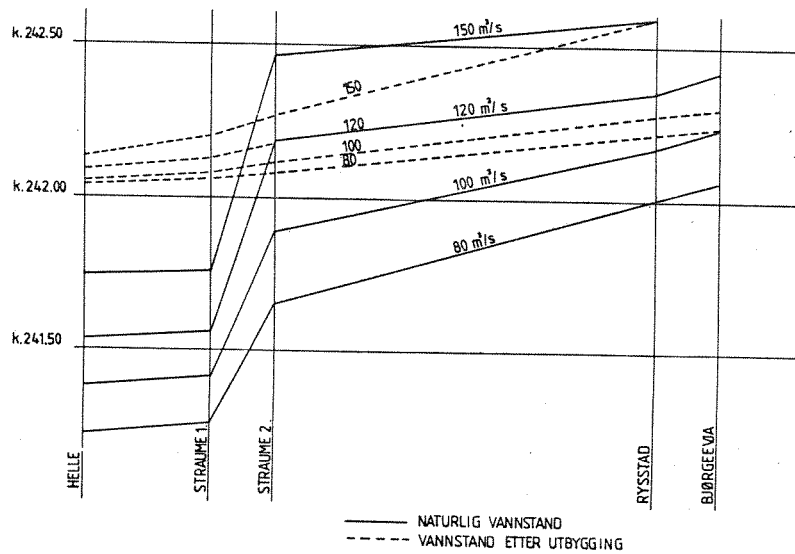


Fig. 4. Endringer i vannstand i Straumefjorden som følge av skiftende vannføringer før og etter Hekni-utbygging (AAK 1985: fig.2). Legg merke til at median vannføring 1965-80 er omkring $62 \text{ m}^3/\text{s}$, slik at fig. representerer endringer ved høy vannføring i Otra, ikke ved normale vannføringer sommerstid (disse endringene i vannstand blir relativt sett langt større).

Sannsynlighetsfordelingen av beregnede vannstander $p_v(z)$ før etablering av Heknis inntaksmagasin er vist i fig.3. Fordelingen er utpreget høyreskjev, hvilket er karakteristisk for vannkraftsjøer av type H1 og H2 (se Rørslett, 1987c). Usikkerhet i beregning av nivå tilsvarende høy vannføring sammen med utilstrekkelig tidsopløsning av vannføring, gjør at modeller for karakterisering av stress (DSSC; "Disturbance/Stress State Change"; Rørslett, 1987c) får begrenset anvendbarhet. Foreløpig beregning antyder at Straumefjorden 1965-80 hadde stor likhet med Kilefjord og Venneslafjord lengre nedover i Otra-vassdraget. Stress i denne sammenheng er omfang og frekvens av vannstandsendringer.

Median vannstand ved Rysstad er beregnet til kote ca. 241.84 under de nåværende forhold. Etter Hekni-utbyggingen antas median vannstand (beregnet med det nåværende sparsomme datagrunnlag) å bli ca. kote 242.08 ved Rysstad. Grensen mellom land- og vannmiljøet flyttes dermed opp omlag 0.25m.

3 VANNVEGETASJON

3.1 Feltobservasjoner

Tidligere undersøkelser (1976)

Terskelbassenget Flåren er undersøkt før av NIVA (Rørslett & medarb., 1978, 1981; Rørslett, 1985). Vannvegetasjon ble den gang registrert ved stereofotografering av 0.25 m² prøveflater (Rørslett & medarb., 1978). Det ble også gjort notater om plantevekst i terskelområdet ved Valle sentrum, men disse observasjonene er ikke bearbeidet. Fra den aktuelle strekningen i selve Otra nedstrøms Brokke ble begroing samlet inn på 3 lokaliteter. Resultatene er rapportert i Rørslett & medarb. (1981).

Observasjonene i 1970-åra viste at det forekom betydelige mengder av makrovegetasjon i Otra og i terskelbassengene. Nedstrøms Brokke var nye slamavsetninger kolonisert av krypsiv (*Juncus bulbosus* L.) et vanlig fenomen. Det beskrives også omfattende begroing med krypsiv i Otra forbi Hylestad og ned til Straume bru. I Flåren var bl.a. torvmoser (*Sphagnum* spp.) tilstede på noe dypere vann (1-2m dyp).

Situasjonen i 1986

Ved feltarbeidet i 1986 ble de fleste tidligere observerte artene funnet igjen. Det virket derfor ikke som det hadde skjedd kvalitative endringer av større omfang i vegetasjonen over en 10-års periode. Her må det presiseres at NIVAs bakgrunnsdata utgjør et temmelig spinkelt materiale. En grundig undersøkelse ble ikke foretatt i 1976, og det materialet som ble samlet inn i 1986 må også ansees å være ufullstendig.

Vannvegetasjonen (etter definisjon i Hvoslef & Rørslett, 1986) på den undersøkte strekningen Rysstad - Straume er nå fullstendig dominert av krypsiv (*Juncus bulbosus*). Det forekommer også små mengder av flôtgras (*Sparganium angustifolium* Michx.) og vasshår (*Callitriche* spp., vesentlig *C. hamulata* Kütz.). I strandsonen forekommer kortskuddsarter (isoetider) sparsomt; de viktigste artene er evjesoleie (*Ranunculus reptans* L.), nålsivaks (*Eleocharis acicularis* (L.) R.&S.) og mykt brasmegras (*Isoetes setacea* Lam.), den siste bare i bakevjer med finsediment-bunn. Bestander av krypsiv ble observert også i terskelbassengene ved Valle og i Flåren. På disse stedene utgjorde imidlertid andre planter en større andel av planteveksten. Særlig flôtgras og blærerot-arter (*Utricularia* spp.) forekom i store mengder.

Torvmoser, antakelig *Sphagnum auriculatum* (tidligere kalt *S. inundatum* eller *S. subsecundum* var. *inundatum* f.eks. i Rørslett, 1985), dekket stedvis bunnen fullstendig.

Langs den stilleflytende strekningen fra Rysstad (Straumefjorden) var krypsiv ofte aktivt med på dannelsen av "sanddyner" på elvebunnen. Plantene binder tilført finmateriale effektivt inne i det tette bladverket. I felt var koloniene fullstendig nedslammet 5-10 cm under ytre del av bladverket. Målinger av spesifikk ledningsevne viste ingen økninger inne i bestandene sammenliknet med vannmassene omkring. Strømhastigheten ble redusert fra 0.2-0.5m/s over plantene til null i ytter- og bakkant av koloniene. Slike dyner "vandrer" sakte nedstrøms fordi det skjer en erosjon i forkant kombinert med pålagring av finmateriale i bakkant (nedstrøms).

3.2 Krypsiv: egenskaper og særtrekk

Krypsiv (*Juncus bulbosus* L.) utmerker seg ved å være uvanlig tilpasningsdyktig for skiftende vannføringer. Krypsiv er en ett- eller flerårig plante, som "normalt" hører hjemme på myraktige strender i åpen vegetasjon. Denne landformen danner små tuer som ofte ikke blir mer enn 10-15cm høye, og er gjerne fertil. Krypsiv er utbredt over store deler av landet vårt, men er mer sjelden nordpå.

I vann kan krypsiv danne en undervannsform (kalt f. *fluitans* (Lam.) Fr., se fig. 5) som nesten bestandig er steril og i utseende avviker sterkt fra landformen. Vannformen (eller mer korrekt vannmodifikasjonen) danner langstrakte skuddkjeder hvor bladene sitter i knipper. Slike skuddkjeder kan bli flere meter lange. Denne modifikasjonen dominerer helt i Otra nedstrøms Brokke. Otra-plantene var i det hele usedvanlig store og frodige, med kraftige hovedstengler og tykke, stive blad. Enkeltskudd kunne bli mer enn 4m lange.

Krypsiv (undervannsmodifikasjonen) bruker CO_2 fra omgivende vann, har et nokså lavt lyskompensasjonspunkt, og trives i surt vann (Hinneri, 1976; Sand-Jensen & Rasmussen, 1978; Roelofs, 1983; Roelofs & medarb., 1984; Wetzel & medarb., 1984; Grahn, 1985). Dersom planten vokser i rennende vann, viser erfaring fra Norge at høy vannføring om vinteren (evt. kombinert med svakt eller manglende isdekke) kan fremme veksten betydelig (Rørslett, 1986). En vesentlig årsak til dette er at plantene under slike forhold ikke visner ned om vinteren, men fortsatt kan være fotosyntetisk aktive.

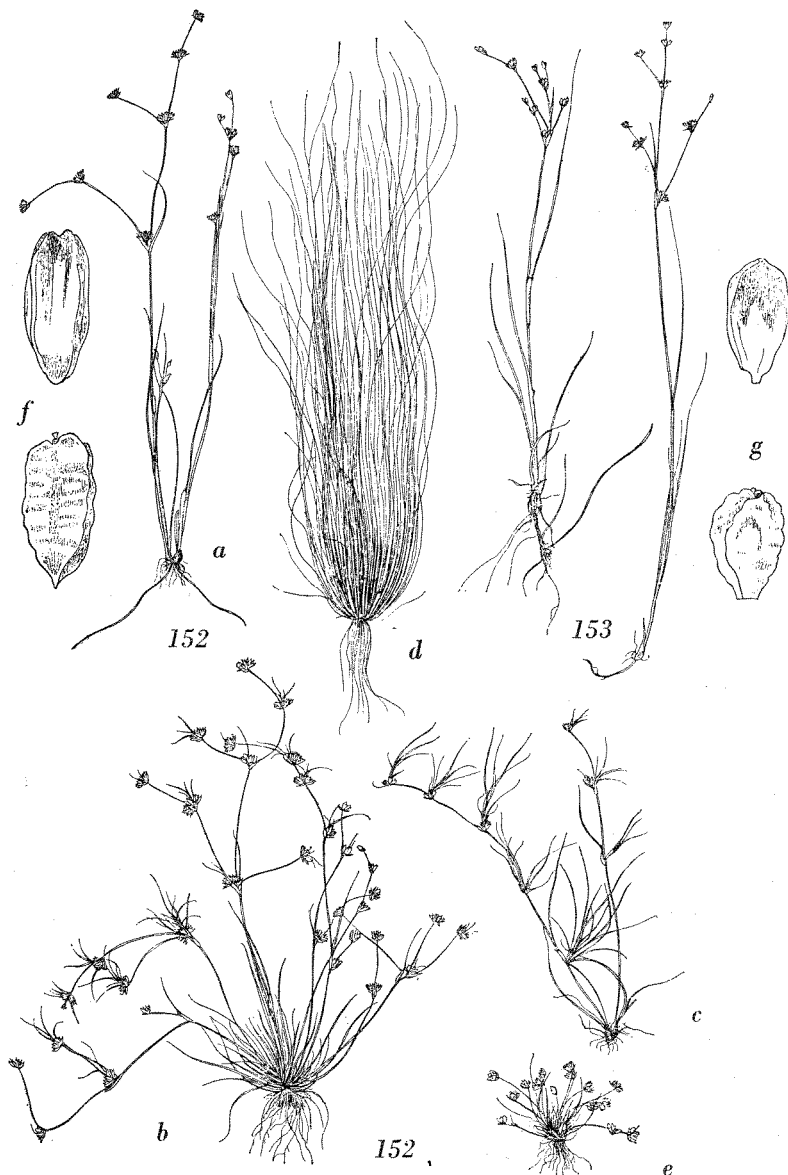


Fig. 152. *Juncus bulbosus* L. Krypsiv.
(¹/_a). a = opprett form. b, c = vivipare eks. d = gold vassform. e = dvergform fra vegkant. f = kapsler (¹/₁).

Fig. 153. *Juncus Kochii* F. Schultz. Dysiv.
(¹/_s). g = kapsler (¹/₁).

Fig. 5. Krypsiv (*Juncus bulbosus* L.). Fra Nordhagen (1948), "Norsk flora. Illustrasjonsbind, 2." Legg merke til plantens skiftende utseende. Vannformen på ill. er langt spinklere enn de typiske formene man finner i Otra, se også tekst s. 18. Dysiv (*Juncus kochii*) regnes nå inn under krypsiv.

3.3 Krypsiv: forskjeller i forekomst på ulike lokaliteter

Krypsiv er kjent fra hele Otra-vassdraget, men blir mer sjelden ovenfor Bykil. I Hartevatn og Breidvatn forekommer bare den opprinnelige landformen av arten. Krypsiv vokser nokså frodig i Bykil, og her i en undervannsmodifikasjon. Store mengder av planten finnes som nevnt i Otra på strekningen Nomeland/Rysstad - Straume, dessuten nedstrøms Byglandsfjord, i Kilefjord, og spesielt i Venneslafjord. I Åraksfjord og Byglandsfjord forekommer krypsiv nokså sparsomt. På alle strekninger av Otra med stor forekomst av krypsiv har plantene felles trekk: de er ofte svært lange, kraftige og har et meget frodig bladverk.

Ved undersøkelsen i 1986 ble det også samlet inn materiale av krypsiv fra flere lokaliteter utenfor Otra-vassdraget. Disse lokalitetene viser interessante kontraster mhp. plantens vekstform.

I Tovdalselva forekom krypsiv flekkvis og var ikke et framtrædende innslag i vegetasjonsbildet på noen av de undersøkte lokalitetene. Plantene var gjennomgående svært korte, ofte bare 20-30 cm høye, og hadde myke trådfine blad. Alle krypsiv-bestand i Tovdalselva sto på relativt dypt vann, mer enn 0.5m vertikalt lavere enn nedre grense for starr (hovedsaklig flaskestarr, *C. rostrata* Stokes). I strykparter var plantene mer frodige men fortsatt langt mindre i størrelse og vitalitet enn krypsiv-planter i Otra.

Krypsiv-planter i Brøbørvatn ved Søndeled var større av vekst, opp til 1m lange, men stadig langt spinklere enn Otra-plantene. Brøbørvatn er oppdemt, men variasjoner i vannstand er ukjente. Også i Brøbørvatn vokste plantene relativt dypt, fra 0.3 til 0.8m vertikalt under helofytt-artenes yttergrense.

I Norsjø ved Skien forekom krypsiv svært sparsomt og alle skudd var meget små. Denne innsjøen er noe sur (pH rundt 5.5) og har næringsrikere vannmasser enn Otra-vassdraget. Også i Norsjø forekom krypsiv på dypere vann og ble ikke funnet i strandsonen. Vekstformen som krypsiv har i Norsjø, er nokså typisk for planten i de fleste innsjøer på Østlandet.

Våre observasjoner viser at det er uvanlig for krypsiv å forekomme slik planten gjør det i Otra-vassdraget. Dette gjelder såvel plantenes størrelse som deres dybdefordeling. De neste avsnittene drøfter om spesielle forhold i Otra (næringstilgang, hydrologi) kan ha medført slik forekomst.

3.4 Kjemisk analyse av næringsstoffer i plantevev

Vannplanter som forekommer på lokaliteter med stor næringstilførsel, vil selv inneholde et forhøyd nivå av stoffer som N, P, K, osv. Dette forholdet er godt dokumentert i litteraturen (Hutchinson, 1975). Mange arter av vannplanter har flerårige deler (ofte rotstokker o.l., mer sjelden skudd), og kan derfor integre påvirkning over lang tid. Dermed kan analyse av næringsnivået i plantevevet være en mulig indikator på støtvis eller kontinuerlig tilførsel av næringsstoffer, f.eks. fra avløpsvann (renseanlegg o.l.) eller diffus tilførsel fra landbruk osv. Slike metoder er til nå ikke vanlige i bruk her til lands, men ble vurdert å være meget interessante i samband med Otra-tilgroingen.

Lokalitetene for innsamling av plantemateriale er vist på fig. 6. I tillegg ble det samlet inn prøver av krypsiv fra Tovdalselva og Brøbørvatn i Søndeled. De undersøkte lokalitetene hadde alle svakt sure (pH 5.5-6.0) og elektrolyttfattig vann (spesifikk ledningsevne κ_{25} var henholdsvis 1.1, 1.8, og 2.8 mS m^{-1} i Otra, Tovdalselva, og Brøbørvatn). Det ble samlet inn 3 - 7 prøver av hele planter (ca. 200 g friskt materiale pr. prøve), som ble frosset ned i felt. Analyseusikkerheten er henholdsvis 1.2 (aske), 0.4 (C), 1.5 (N) og 1.6 % (P).

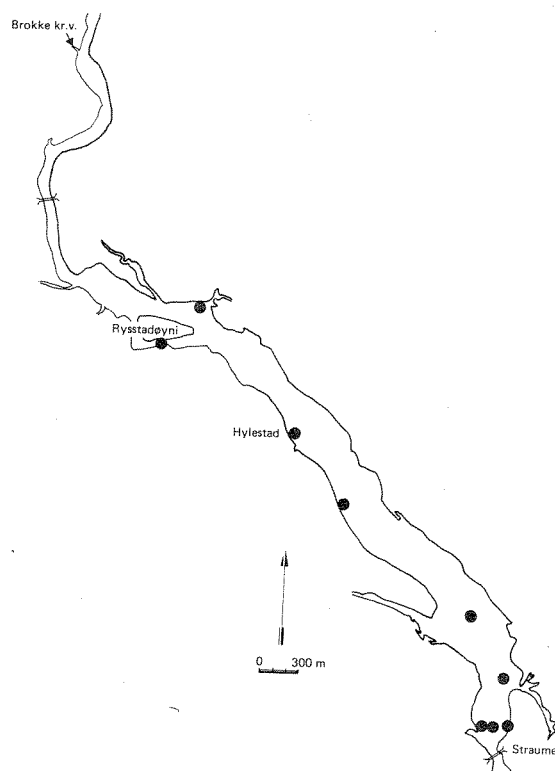


Fig. 6. Plassering av lokaliteter for bestemmelse av næringsstoffer i krypsivplanter.

Tabell 4. Innhold av karbon (C), nitrogen (N) og fosfor (P) i krypsivplanter fra Otra, Tovdalselva og Brøbørvatn i Søndeled. Verdier beregnet på askefri tørrvektbasis (AFDW).

Lokalitet	C N P			N:P	Kommentar
	(mg g ⁻¹ AFDW)				
1 Straume midtparti	484.0	27.5	1.04	26.7	
2 Straume vest	485.5	27.0	0.97	29.1	
3 Straume øst	473.5	28.4	0.84	34.1	
4 Oppstr. Straume	483.2	22.8	0.79	29.4	
5 Fjødskardevja	471.6	25.4	1.04	24.5	
6 Torvet	472.7	32.4	1.92	16.9	strømmende vann
7 Hylestad	479.8	27.5	1.32	22.7	
8 Rysstadøyni	483.7	27.2	1.53	17.9	nær dyrka mark
9 Bjørgeevja	488.7	29.6	1.29	22.9	" " "
10 Valle sentrum	467.9	28.8	1.51	19.1	" " "
11 Tovdal Ramse	476.9	23.8	1.03	23.2	stille parti
12 Tovdal Tveitvatn	484.3	27.1	1.44	18.8	stryk
13 Brøbørvatn	481.8	25.8	1.56	16.6	
Gj.snitt \bar{X}	479.5	27.2	1.25	23.2	
St.avvik $\hat{\sigma}$	7.61	4.25	0.199	4.29	
Var.koeff. % CV	1.6	15.6	15.9	18.5	

De målte karbon-verdiene ligger godt innenfor den normale variasjonsbredden for vannvegetasjon (45-50% AFDW, Rørslett & Johansen, 1984). Nitrogen-innholdet kan betegnes som middels høyt, kanskje noe høyere enn ventet for denne arten. Fosfor-verdiene for krypsiv er svært lave, og ligger gjennomgående under de laveste verdier rapportert i litteraturen tidligere (ref. Rørslett & Johansen, 1984).

Forskjell i verdier mellom lokalitetene kan skyldes tilfeldigheter. Dette ble testet med énveis variansanalyse. Statistisk signifikante forskjeller mellom lokalitetene ble funnet for P og N:P (begge hadde $p < 0.01$), og for C ($p < 0.05$). Derimot var forskjeller i N ikke signifikante ($p > 0.25$).

Ser man i detalj på analyseresultatene, kan følgende vurderinger gjøres: krypsiv-planter fra områder hvor næringstilgangen kan være større enn ellers i området (f.eks. ved Valle, spesielt ved lav vann-

føring), har svakt forhøyd innhold av N og P og et noe lavere N:P forhold ($N:P < 20$). Dette viser at den anvendte analysemetodikk er følsom nok til å detektere slike mindre endringer i vekstvilkårene. Det er verd å merke seg at plantene fra strømmende vann i Tovdalselva og i Brørbørvatn har omlag samme næringstilstand som i Valle-plantene.

Krypsivet i nedre deler av Straumefjorden synes å være mest næringsstresset (minst tilgang i forhold til behov) av samtlige undersøkte planter. Dette viser klart at den kraftige veksten her ikke skyldes økt næringstilførsel. Det uvanlig lave fosfor-nivået i krypsiv betyr at normale eutrofierings- betraktninger og -modeller er lite relevante for å vurdere økt vekst av planten.

3.5 Nisjeromsanalyse

Vegetasjonen forandres meget tydelig langs en gradient fra land til under vann (Hutchinson, 1975). Nye arter kommer til og andre arter forsvinner. Dette kalles sonering, og gradienten betegnes en vertikal-gradient (iblant feilaktig en "dybde"gradient). Nisjen til en vannplante er den del av vertikalgradienten hvor planten kan eksistere.

I samband med reguleringsinngrep er det av stor interesse å undersøke hvordan nisjens størrelse påvirkes ved ulike mønstre for vannstandsvariasjoner (Rørslett, 1984). Dette forteller direkte om en art begünstiges av ett inngrep (eller ikke). Beregningene er relativt omfattende og gjøres normalt ved hjelp av en datamaskin. For de matematiske og statistiske detaljene henvises til Rørslett (1984, 1987a,b).

Vegetasjonens vertikale fordeling beskrives best i forhold til medianvannstand (jfr. Rørslett, 1984, 1987b). Koordinatene er gitt ved :

$$z = Z - Z_0$$

hvor Z = nivåangivelse (vilkarlig system med Z-akse positiv opp) og
 Z_0 = median vannstand (på Z-akse)

Alle nivåangivelser (z) under medianvannstand har dermed negativt fortegn. Det må understrekes at z -koordinatene ikke er det samme som dyp, slik dette begrepet normalt brukes (dyp = distanse inn- eller nedover fra en overflate).

Beregninger av nisjerom for krypsiv (*Juncus bulbosus*) er gjort for periodene: 1945-63 (basis: vannføring ved Valle VM 536), 1965-80 (VM 1508, før Hekni), og etter Hekni (VM 1508, periode 1965-80, omregnet i

hht. AAK, 1985). Det er brukt en svekningskoeffisient for undervannsllys (PAR) på 0.36 m^{-1} og en antatt istykkelse på 0.5m før regulering (1945-63) og manglende isdekke etter regulering (1965-80). Det hydrologiske bakgrunns materialet er gitt av fig. 2-3. Fig. 8 viser beregnet nisjerom for de tre periodene. Fra disse beregningene kan det sluttet at

- nisjerommet er økt i 1965-1980 sammenliknet med perioden før regulering.
- ekspansjon er mulig såvel mot dypere som mot grunnere vann.
- manglende islegging gir tydelig utslag i potensiell utvidelse av artens forekomst.

Nisjeromstørrelse har ifølge disse beregningene økt fra 2.8 vertikalmeter før regulering (1945-63) til 3.8 vertikalmeter etter (1965-80). Hekni-utbyggingen vil gi en ny økning til 4.2 vertikalmeter.

En direkte sjekk på beregningene er mulig ved å se på NIVAs bilder tatt i området 1976. Øvre nisjegrense skulle etter vår beregning da ligge på et nivå som tilsvarer en vannføring omkring $45 \text{ m}^3/\text{s}$. Dette stemmer meget vel overens med feltobservasjoner gjort ved en vannføring på $40 \text{ m}^3/\text{s}$ (fig.7 nedenfor).



Fig. 7. Otra nedstrøms Brokke, 1976. Lavvannføring ca $40 \text{ m}^3/\text{s}$ ved fotograferingstidspunktet. Øvre krypsiv-bestand ved og litt over vannstands nivået.

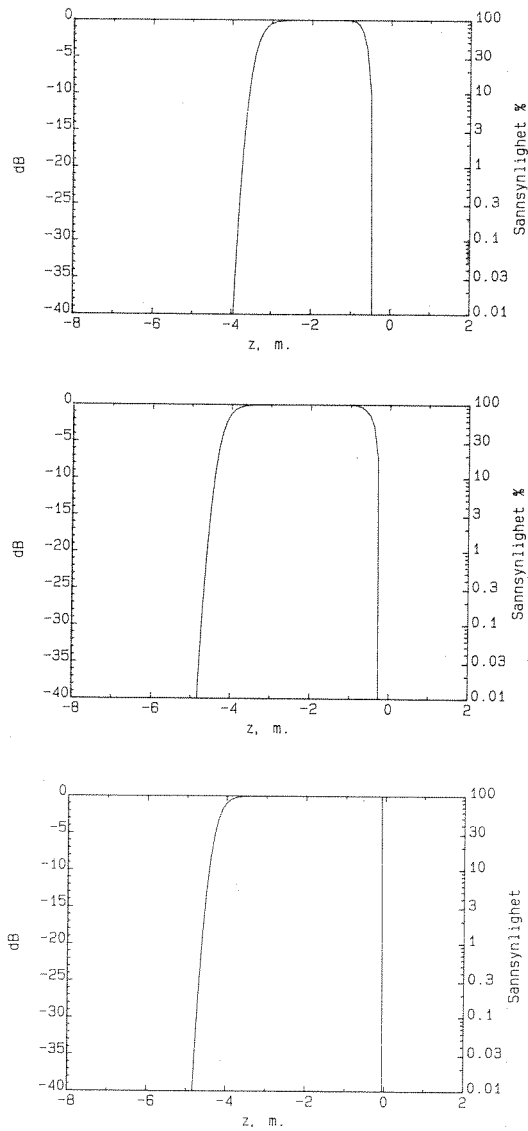


Fig. 8. Teoretisk nisjerom ("survival niche", Rørslett, 1987b) for krypsiv (*Juncus bulbosus*). Se ellers tekst for detaljer. Åra 1945-1963 (øverst), 1965-80 uten Hekni (midt) og med Hekni (nederst). Tidsvindu (Rørslett & Agami, 1987) satt til 2 år.

z = vertikalkoordinat som avvik fra periodens median vannstand. Samnsynlighet for overleving i % på logaritmisk skala.

3.6 Utvikling gjennom tid

Et vesentlig spørsmål i utredningen om vegetasjonsproblemene er når veksten startet - eventuelt om slik vegetasjon har eksistert langt tilbake i tid. Fordi det her er tale om (a) flerårige planter, og (b) grunne elvepartier, kan eksisterende svart/hvit flybilder benyttes.

Norsk luftfoto og fjernmåling (NLF, Oslo) skaffet tilveie eldre flybilder, og fotograferte dessuten Otra på strekningen Nomeland-Straume sommeren 1986 med IR-falskfarge film. Denne filmtypen er særlig velegnet for registrering av vegetasjon, også i og under vann. Følgende bilde data er anvendt (bilde serie nr. og målestokk);

F-W 1046	1:40 000	bilde nr. C 3-6	22.6.1959
NF 137	1:15 000	bilde nr. 208-215, 301-308	11.9.1962
F-W 3676	1:15 000	bilde nr. H7-10, J10, K2-4	21.9.1970
F-W 6996	1: 4 000	bilde nr. B4-13, C2-8, D1-15, E1-5	22.7.1981
F-W 9086	1:10 000	bilde nr. A1-8 IR farge	6.8.1986

I tillegg finnes det skråfotografier (IR farge) tatt fra småfly i juli 1976 av NIVA.

Digital planimeter Tamaya Planix 7P og Wild speilstereoskop ST4 ble brukt ved bearbeidingen av bildematerialet og kartlegging i målestokk 1:5000 (basis: Økonomisk kartverk).

Resultatet av bildeanalyse på 1986-materialet er framstilt i fig.9. Den aktuelle elvestrekningen Nomeland-Straume hadde et overflateareal på 1.96 km² ved fotograferingstidspunktet, hvorav 1.07 km² eller 55% var bevekst med krypsiv. Prosentvis begrodd areal er meget stort i forhold til det man normalt finner i norske vannforekomster. Ved NIVAs undersøkelser de siste 10-15 årene er verdier på et slikt nivå meget sjeldne; den høyeste verdi for vannvegetasjon registrert tidligere var 48% og stammet også fra en krypsiv-dominert lokalitet (Venneslafjorden i nedre Otra; Rørslett, 1986).

Størst utbredelse av vannvegetasjon var i den øvre del ved Rysstad. Denne elvestrekningen har også et tydelig fall og strømmende vann. Også ved Straume var det massiv vekst av krypsiv.

Eldre flybilder viser at Otra har hatt forekomst av vannvegetasjon før og dette kan være krypsiv. Omfanget av forekomstene før var lite i forhold til 1986-situasjonen. Noen tidsserier (fig. 10-12) viser den økende forekomsten opp gjennom 1970-80 åra.

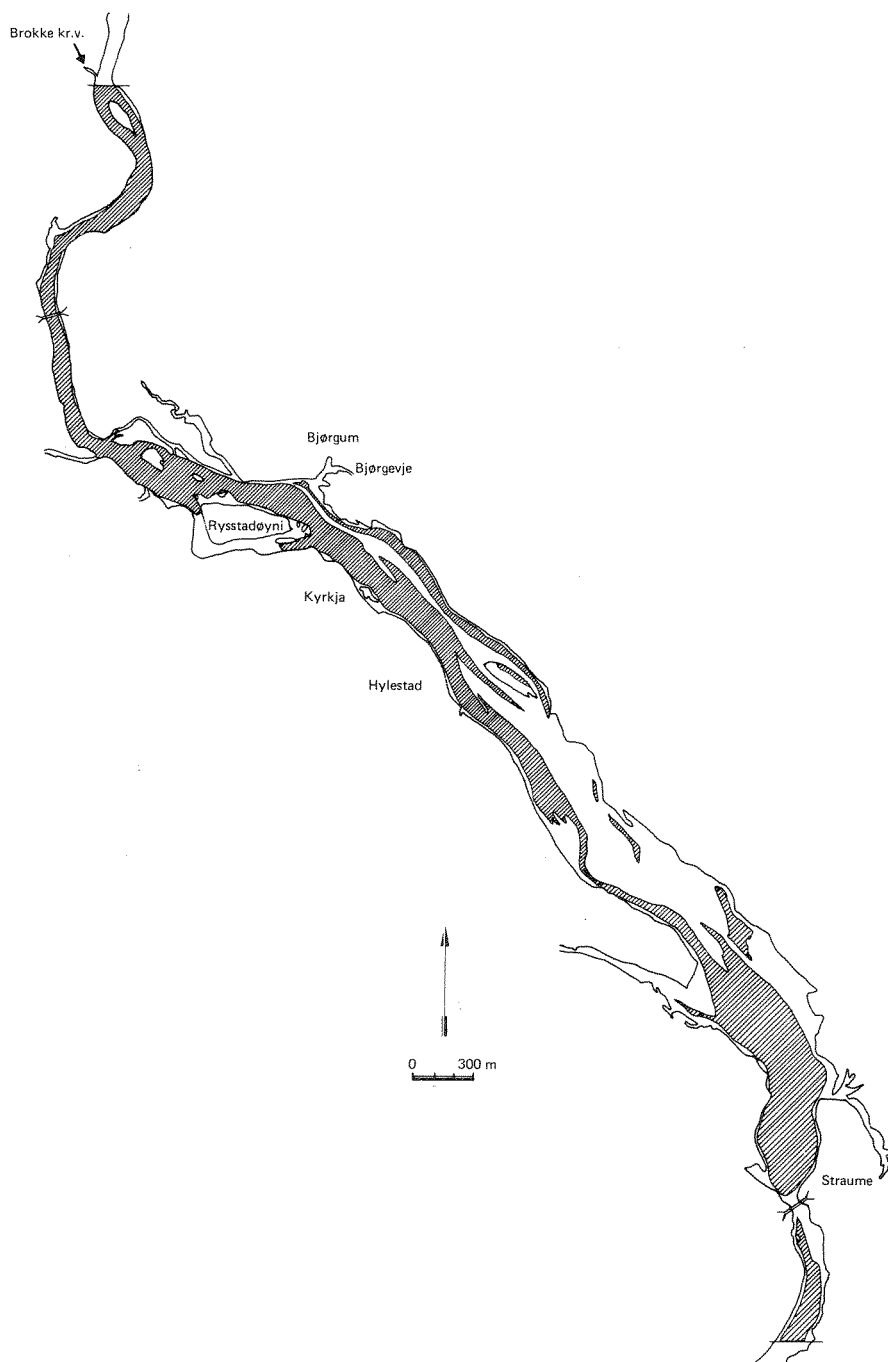


Fig. 9. Vegetasjonskart for Otra nedstrøms Brokke, 1986. Bare vannvegetasjon (krypsiv) er tatt med. Se for øvrig tekst for detaljer.

Heldekkende skravur: meget tett vegetasjon.

Figurtekster

Fig. 10. Utviklingen oppstrøms Rysstadøyni 1962-1986.

Fig. 10a viser at strykpartiene oppstrøms Rysstadøyni var sparsomt eller middels tett kolonisert med undervannsvegetasjon i 1962. På fig. 10b (1970) ses en betydelig økning i forekomst av denne vegetasjonen. Kolonistrukturen som fremkommer på bildet antyder at plantene er krypsiv (*Juncus bulbosus*). Fig. 10c (1986) viser et tett dekke av vegetasjonen over hele elvebunnen. Feltobservasjoner viser at denne vegetasjonen består nær 100% av krypsiv.

Fig. 11. Utviklingen ved Hylestad 1959-1986.

I 1959 (fig. 11a) er det svært sparsom vegetasjon til stede. Organisk materiale sedimentert i strandområdene fremtrer som mørke striper og kan forveksles med undervannsvegetasjon. Situasjonen i 1962 (fig. 11b) er omtrent lik den i 1959, når man tar hensyn til de ulike fotograferingstidspunktene (juni vs. sept.). På bildet fra 1970 (fig. 11c) ser man tydelig omfattende kolonier av undervannsvegetasjon (store mørke partier ute i elva). Begynnende kolonisering av sandbanke litt til høyre for bildesentrum. I 1986 (fig. 11d) er det sammenhengende vegetasjonsdekke i elveløpet og tett kolonisering på sandbanken.

Fig. 12. Utviklingen ved Straume 1959-86.

Utviklingen her er svært lik den beskrevet for Hylestad. Bildene fra 1959 (fig. 12a) og 1962 (fig. 12b) dokumenterer klart en sparsom og åpen vekst av undervannsvegetasjon, uten særlig forskjell åra imellom. I 1970 (fig. 12c) opptrer undervannsvegetasjon i større og sammenhengende kolonier (mørke flekker). Man kan se at det er den opprinnelige vegetasjonen som har ekspandert. Bildet fra 1986 (fig. 12d) viser at undervannsvegetasjonen dekker nær 100% av elvebunnen.



Fig. 10a.
Rysstadøyni
1962



Fig. 10b.
Rysstadøyni
1970



Fig. 10c.
Rysstadøyni
1986

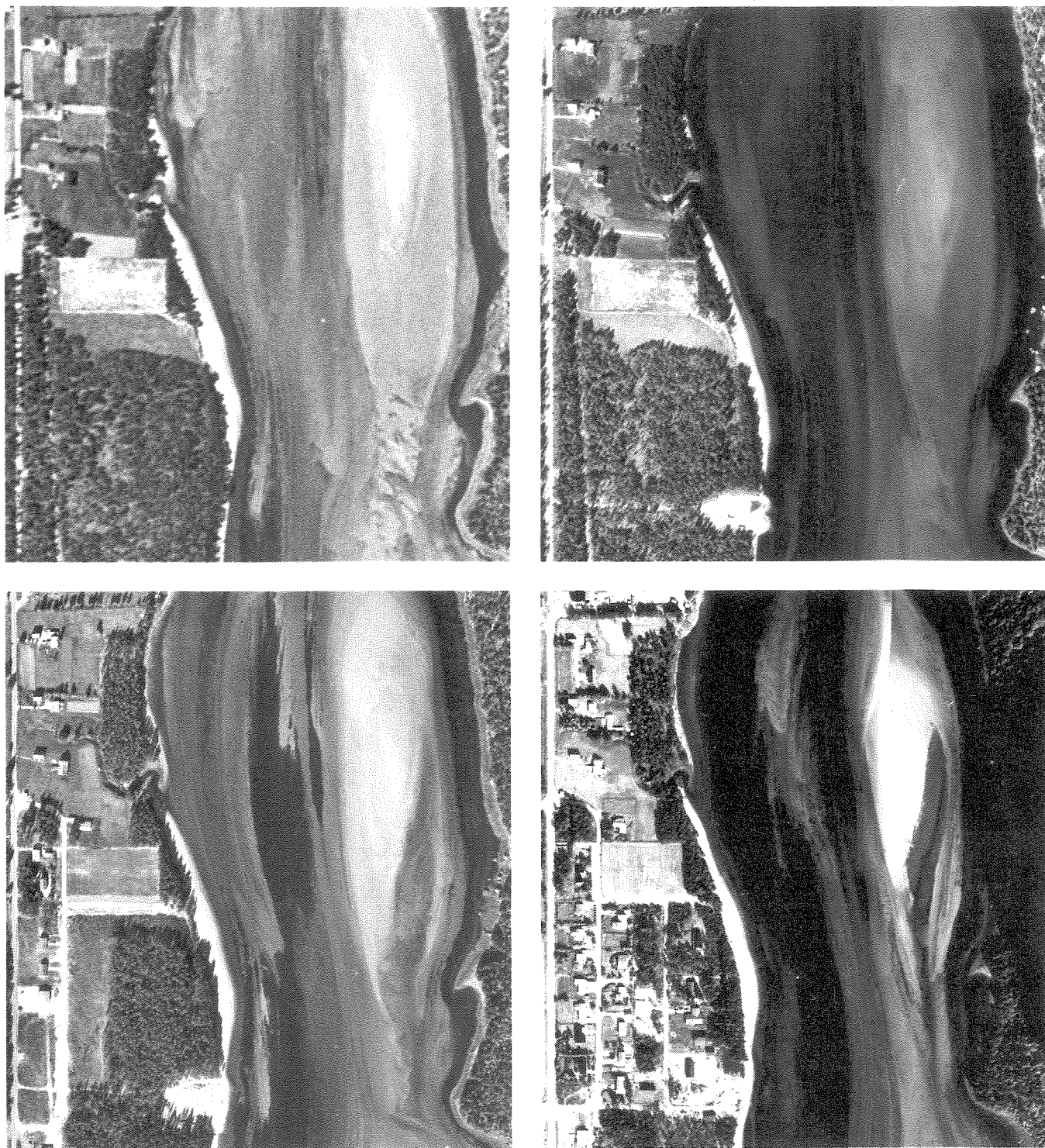


Fig. 11. Utsnitt av flybilder - Hylestad fra 1959 til 1986.
A. (øverst til venstre) 1959, B. (øverst til høyre) 1962
C. (nederst til venstre) 1970, D. (nederst til høyre) 1986

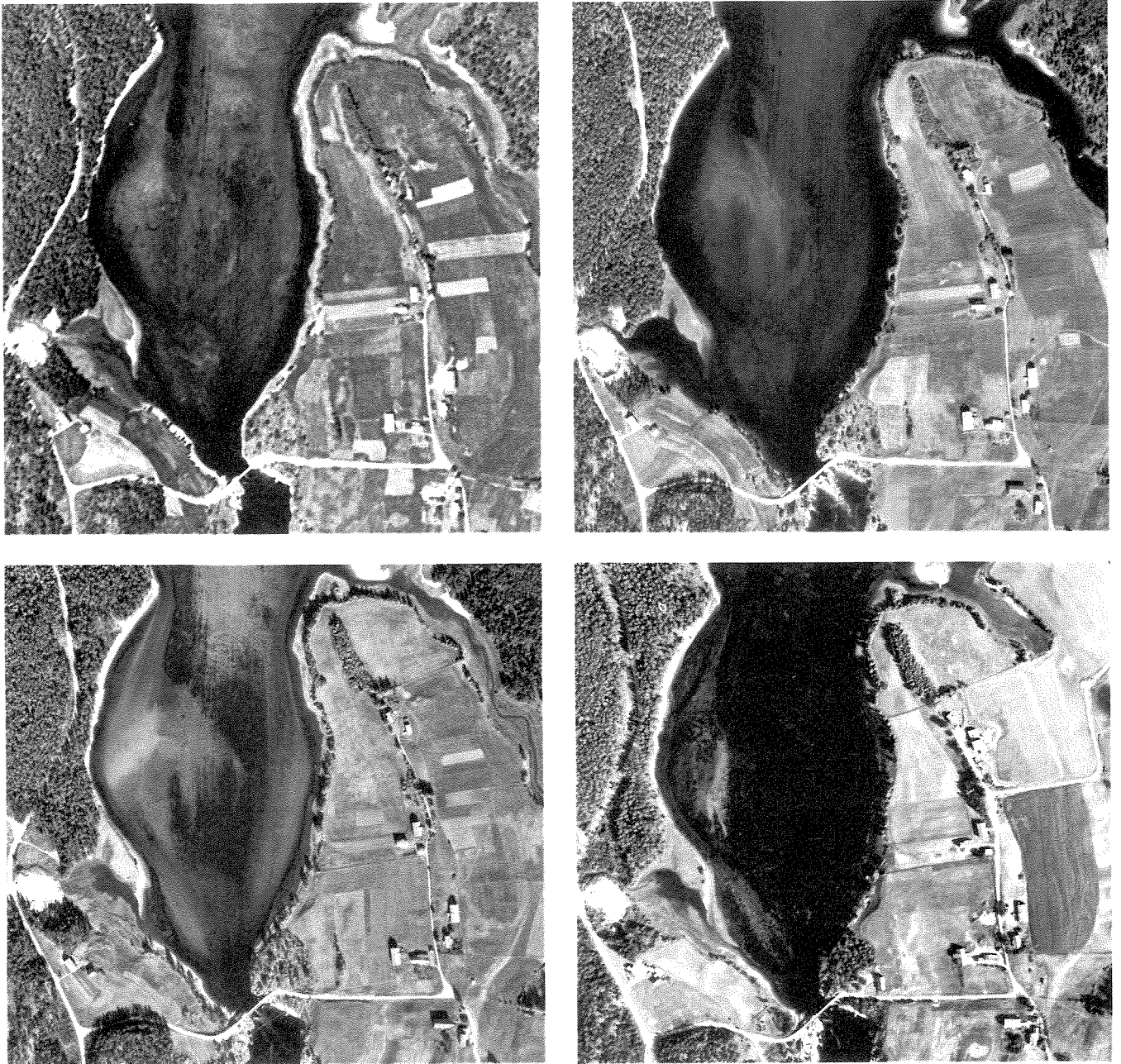


Fig. 12. Utsnitt av flybilder - Straume fra 1959 til 1986.
A. (øverst til venstre) 1959, B. (øverst til høyre) 1962
C. (nederst til venstre) 1970, D. (nederst til høyre) 1986

4 PROBLEMANALYSE OG MULIGE TILTAK

4.1 Utløsende årsak - sammenfattende diskusjon

I økologisk sammenheng er vannvegetasjonens betydning for et innsjøsystem velkjent (Hutchinson 1975). Større endringer i vegetasjonens utbredelse og sammensetning kan få alvorlige ringvirkninger (f.eks. endring i erosjonsforhold, lystilgang og dermed algeproduksjon, endring av oppvekstmiljøet for fisk og deres næringsdyr). Slike forandringer skjer oftest nokså langsomt. Når det gjelder kunnskap om vegetasjonens betydning for rennende vann systemer (elver) og elvemagasin står fortsatt mye ugjort arbeid igjen.

Endringene i vegetasjon kan innebære:

- kvalitative aspekter (fler, færre, eller andre arter)
- kvantitative aspekter (større eller mindre vegetasjonsareal)

For den undersøkte elvestrekningens vedkommende, kan det med stor sikkerhet sies at

- Forholdet mellom artene endres over tid. Spesielt krypsiv øker kraftig.
- Areal med vannvegetasjon øker. Denne økningen skyldes igjen krypsiv.

All informasjon tilsier at krypsiv har vokst i vassdraget i lang tid. Hvorfor får vi så denne voldsomme veksten av planten?

Flybildene viser at vannvegetasjonen har økt påtakelig fra slutten av 1960-åra og fram til i dag. De eldre flybildene (se s. 24 for bildenumre) er delvis fotografert på noe ugunstige tidspunkter for vegetasjonsformål. Imidlertid kommer den økende tilgroingen med krypsiv klart fram på bildematerialet. De tette bestandene av krypsiv betyr en alvorlig hindring for bruk av innsjøen til f.eks. båtsport, fiske og andre aktiviteter. NIVAs feltarbeid ble for eksempel sterkt hindret av den tette vegetasjonen.

Vår analyse av næringsstatus i krypsiv-planter viser at god nærings-tilgang ikke kan forklare veksten. Krypsiv-plantene er tvertimot nærings"stresset" pga. av det næringsfattige miljøet. Ved anleggsarbeider er Otra tilført store mengder slam og rester av nitrogenholdig sprengstoff (Lande, 1986). Muligens kan dette ha gitt gunstige vekstvilkår, i alle fall i en overgangsfase.

Klassiske tegn på forsuring er: opphoping av dødt plantemateriale, klart vann, økt forekomst av trådformede alger og torvmoser (Grahn, 1985; Lazarek, 1985). Lite forsuringstolerante arter (jfr. Roelofs, 1983) forsvinner. De artene som går ut etter hvert, tilhører alle det såkalte "isoetide"samfunnet (Rørslett, 1986): tjønngas (*Littorella uniflora*) og brasmegras (*Isoetes lacustris* og *I. setacea*). Disse artene er viktige komponenter i nærings- og stoffomsetningen i oligotrofe (næringsfattige) innsjøer (Roelofs, 1983; Grahn, 1985). Artene som øker, er spesielt krypsiv og blærerot-arter blant karplantene, og forøvrig torvmoser og påvekstalger. Ingen av disse artene har betydning i Straumefjorden, men forekommer i terskelbassengene ved Valle. Betydning av redusert strømhastighet og økt sedimentering er ikke undersøkt for dette plantesamfunnet.

Den dominerende arten i Straumefjorden, krypsiv (*Juncus bulbosus*), er rapportert å øke i forekomst ved forsuring (Nilssen, 1980; Roelofs, 1983; Wetzel & medarb., 1984). Dette baseres mest på en vurdering av "dagens" situasjon mer enn nøye oppfølging på én lokalitet over tid. Ingen av forfatterne ovenfor har således brukt flybilder e.l. for å dokumentere de angivelige tidsendringer. Oss bekjent finnes det bare én undersøkelse i Norge som sammenlikner tidligere vegetasjonsbeskrivelser mot nye i forsuringsområder. Halvorsen (1977) sammenliknet 10 innsjøer i Aust-Agder med beskrivelser fra 1930-åra. Ingen klare forskjeller i vegetasjon ble dokumentert i dette arbeidet. Spesielt kan man merke seg at krypsiv-forekomstene i disse innsjøene beskrives i samme vendinger som 40 år tidligere.

Krypsiv er utvilsomt særst godt tilpasset et surt miljø, bl.a. ved sin effektive utnyttelse av CO₂ fra vann såvel som sediment (Roelofs & medarb., 1984; Wetzel & medarb., 1984). Om ikke annet, vil dette gi arten en klar konkurransemessig fordel ved en tiltakende forsuring. Kan så den økte forekomst av krypsiv i Straumefjorden føres tilbake på forsuring alene? Som drøftet tidligere i rapporten, er en økt forsuring ikke klart dokumentert for den aktuelle del av vassdraget i perioden etter 1972. Vi må derfor finne en referanse hvor påvirkning av sur nedbør er sammenliknbar og se om planten også der opptrer i stor mengde.

Tovdalsvassdraget er i likhet med Otra sterkt utsatt for sur nedbør (Moss & Næss, 1981). Vannkjemisk sett er begge vassdrag kjennetegnet ved elektrolyttfattige vannmasser med lave verdier for næringsstoffer. Surhetsgraden i disse vassdragene øker (lavere pH-verdi) alment mot lavlandet, mest i Otra. pH-verdier omkring 5.0-5.5 synes å være vanlig i begge vassdragenes midtre avsnitt.

Vegetasjonsmessig likner Tovdalselva og Otra meget på hverandre. Begge vassdrag er kjennetegnet ved betydelig forekomst av krypsiv. For Tovdalselva nevner Moss & Næss (1981) spesielt at arten forekommer i "stille loner. [Arten] finnes spredt også i svake stryk[partier]." Ser man på artens oppførsel i uregulerte vassdrag (jfr. s. 18) er det påfallende hvordan arten finnes på dypere vann og hvor gjennomgående små skuddene er i forhold til i Otra. Dette kan ikke tolkes anderledes enn at vekstvilkårene i Otra er klart ulike fra de nærliggende uregulerte vassdrag. Dette utelukker forsuring som noen mulig forklaring på masseveksten i Otra.

En detaljgransking av flybildematerialet viser at den store krypsiv-ekspansjonen skjer straks nedenfor utløpet fra Brokke. Minstevannsstrekningen oppstrøms kraftverket har ikke denne type vegetasjon. Bilder tatt før Brokke kom i drift viser ikke tegn på masseforekomst av vannvegetasjon.

Ser vi på strekningene i Otra med kraftig vekst av krypsiv, er det et felles trekk at vintervannføringen er økt her. Dette er uten unntak også knyttet sammen med redusert sommervannføring. En følge av slike hydrologiske endringer er sterkt svekket eller manglende islegging. For krypsiv betyr strømmende vann at næringstilgang sikres selv under klart næringsfattige forhold. Dermed kan planten opprettholde en betydelig skuddbiomasse. Veksten fremmes av manglende isdekke, siden planten da ikke dør ned om vinteren. Planten følger da en flerårig livssyklus. Dette gir igjen mulighet for å danne lange skuddkjeder, noe som er typisk tilstede i Straumefjorden. Gjennom den omfattende regulering av Otra har det skjedd en forskyvning av høye vannstander til vinterhalvåret, kombinert med lave vannstander sommertid (fig.2-3). Modellberegninger (s. 22 og fig. 6) antyder at disse endringene kan ha gitt krypsiv en ekspansjonsmulighet på dypt såvel som på grunt vann. I denne sammenheng vil vi framheve betydningen av redusert isdekke. Nettopp i områder med manglende isdekke har planten nå sin største forekomst. Hekni-utbyggingen vil generelt gi mulighet for ytterlig ekspansjon av krypsiv.

Som en sammenfatning av denne diskusjonen konkluderes

- masseforekomst av krypsiv i Otra nedstrøms Brokke er utløst av reguleringene
- forholdene kan ikke ventes å bedre seg over tid
- nye utbygginger (Hekni) kan forverre tilstanden

4.2 Mulige tiltak

Kraftproduksjonen i Otra skaper en ikke naturlig forekommende miljø-kombinasjon, kjennetegnet ved høy vintervannføring og -vannstand samt redusert eller manglende islegging. Uheldigvis betyr disse nyskapede forholdene også gunstige vilkår for krypsiv. I denne rapporten er det sannsynliggjort at Hekni-utbyggingen skaper nye muligheter for uønsket vekst av krypsiv.

Hva kan så gjøres for å redusere omfanget av dette problemet? Åpenbart må tiltak mot den økende vekst av krypsiv sikte på å endre de gunstige vekstvilkårene som planten nå har. Stikkord her er ønske om (1) høy sommervannstand, (2) flomeepisoder, (3) lav vintervannstand og (4) islegging. Dette kommer i sterk konflikt med behovet for full drift av kraftverkene i vassdraget. Alternative tiltaksløsninger må derfor finnes.

Nedenfor følger en kortfattet liste over de tiltaksmuligheter som kan tenkes pr. idag, med momenter i stikkordsform tilknyttet. Vurderingene tar utgangspunkt i en situasjon etter Hekni-utbyggingen.

- mekanisk fjerning
- spyleflommer
- tildekking
- induisert erosjon
- manøvrering av vannstand sommer og vinter
- herbicider

Herbicider brukt i vann er belemret med uønskede sideeffekter. Disse er i tillegg lite utredet for våre forhold. Jordbruksinteresser (f.eks. til vanning) og annet bruk av vassdraget taler mot bruk av herbicider. Det mest aktuelle middel vil være Diquat. Plantegifter kan kortvarig forbedre situasjonen, men løser ikke det egentlige problemet.

Mekanisk fjerning av vann- og strandvegetasjon er mye brukt utenlands. Norske erfaringer er heller blandet, bl.a. fordi probleplanter her til lands ikke vokser der hvor det utenlandske utstyret passer best (D. Berge, pers. meddel.). NIVA vurderer mekanisk fjerning av krypsiv som en urealistisk måte å løse tilgroingsproblemet i Otra på. Arealene er for store, til dels for grunne til bruk av tilgjengelig materiell, og faren for kraftig erosjon på elvebunnen for stor. Økonomisk sett vil mekanisk fjerning også falle svært kostbart, i størrelsesorden adskillige mill. kr.

Tildekking ved plastduk/nett sikter på (1) å skygge ut plantene, (2) å hindre planter i å få rotfeste. Slike metoder har vært prøvd med noe hell utenlands og da helst i mindre vassdrag. Det er helt uvisst om slike metoder lar seg gjennomføre i Otra. Det planlegges for tiden å starte en forsøksvirksomhet med slike tiltak i regi av NIVA. Otra er da ett mulig forsøksområde.

Spyleflommer kunne muligens innpasses i driftsmønsteret for Brokke. Det nødvendige omfang av slike flommer vil imidlertid være 1-3 uker med vannføring 5-10 ganger større enn median vannføring (dvs. en flom på 7-800 m³/s eller mer). Virkningen av en slik flom ville være størst om vinteren, mens en flom sommerstid antakelig ville belaste planteveksten adskillig mindre. Av hensyn til vassdragets manøvrering og fare for skadeflom virker det urealistisk å bruke spyleflommer av det nevnte omfanget.

Hensikten med spyleflommer er å indusere erosjon av bunnsediment og dermed å fjerne plantevekst rent mekanisk. På forsøksbasis bør man utprøve om dette også lar seg oppnå f.eks. ved å kutte skråstilte "spor" eller renner i bestandene. Slike forsøk bør i såfall utføres vinterstid for å belaste plantene maksimalt.

Kortvarig nedtapping av reguleringsmagasinet om vinteren, og da helst i samband med langvarige kuldeperioder, kan redusere omfanget av krypsiv-begroing. Det er bare planter på grunt vann som kan påvirkes slik. En økt sommervannstand kan bare gi redusert vekst dersom den kombineres med tilsvarende lav vintervannstand.

Manglende kunnskap om justering av biotoper i rennende vann, er et alvorlig problem som snarest må løses ved å initiere tiltaks-orientert forskning. Flere av tiltakene nevnt foran bør prøves ut i mindre målestokk i Otra. Mest aktuelt synes det å være med tildekking og ulike former for erosjonsbetinget slitasje på bestandene. Enhver videre aktivitet og utredning av vegetasjonsproblemene i området vil imidlertid kreve at det skaffes til veie langt bedre grunnlagsdata. Dette gjelder hydrologi hvor registrende vannstandsmåler(e) i Straumefjorden må prioriteres høyt. Vertikalfordelingen av krypsiv må også klarlegges dersom effekt og kostnader ved mottiltak skal kunne vurderes.

REFERANSER

- Aust-Agder Kraftverk (AAK) 1985: Hekni kraftverk. Konesjonssøknad. Søknad og teknisk-økonomisk beskrivelse. Ing. A.B. Berdal A/S, Oslo, 59 s. + bilag.
- Boman, E., Høgberget, R., Romstad, R. & Sahlquist, E.-Ø. 1984: Øvre Otra. Undersøkelse av terskelbasseng i Valle 1983. Statlig program for forurensningsovervåking rapport 146/84, SFT/NIVA, 46 s.
- Grahn, O. 1985: Macrophyte biomass and production in Lake Gårdsjön - an acidified clearwater lake in SW Sweden. *Ecol. Bull.* 37: 203-212.
- Grande, M., Rørslett, B. & Hals, B. 1980: Overvåkingsundersøkelser i Nedre Otra. Fremdriftsrapport for 1979. Norsk institutt for vannforskning, rapport 0-73012 VI, 36 s.
- Halvorsen, K. 1977. Makrofyttvegetasjonen i endel vann på Agder. SNSF-prosjekt rapport TN 36/77, 154 s.
- Hinneri, S. 1976: On the ecology and phenotypic plasticity of vascular hydrophytes in a sulphate-rich, acidotrophic freshwater reservoir, SW coast of Finland. *Ann. Bot. Fennici* 13: 97-105.
- Holtan, H. & Lingsten, L. 1986: Overføring av Bjørnarå m.fl. og Bestelandså m.fl. til Brokke kraftverk. Vurdering av eventuelle forurensningseffekter. Norsk institutt for vannforskning, rapport 0-85166, 52 s.
- Hutchinson, G.E. 1975: A treatise on limnology. III. Limnological botany. Wiley & Sons, New York, 660 s.
- Hvoslef, S. 1986: Befaring 20.8.85 i Storebukta med tilstøtende vassdrag (Vennesla kommune). Norsk institutt for vannforskning, notat 0-85153, 17 s.
- Hvoslef, S & Rørslett, B. 1986: Makrovegetasjon i norske innsjøer. I. Avgrensning av vannvegetasjon og regional forekomst. *K. norske Vidensk. Selsk. Mus. Rapp. Bot. Ser.* 1986, 2: 60-75.
- Lande, A. 1986: Nitrogenavrenning fra sprengstein i Øvre Otra. Vurderinger av vannkvalitetsendringer 1981-85 i forbindelse med anleggsvirksomhet. NIVA rapport 0-83143, 39 s.
- Lande, A. & Grande, M. 1986: Otra. Tiltaksorientert overvåking 1985. Statlig program for forurensnings overvåking rapport 249/86, SFT/NIVA, 40 s.
- Lazarek, S. 1985: Epiphytic algal production in the acidified Lake Gårdsjön, SW Sweden. *Ecol. Bull.* 37: 213-218.
- Moss, O.O. & Næss, I. 1981: Oversikt over flora og vegetasjon i Tovdalsvassdragets nedbørfelt. Kontaktutvalget for vassdragsreguleringer, rapport 23, 92 s.
- Nilssen, J.P. 1980: Acidification of a small watershed in southern Norway and some characteristics of acidic aquatic environments. *Internat. Rev. ges. Hydrobiol.* 65: 177-207.

- Roelofs, J.G.M. 1983: Impact of acidification and eutrophication on macrophyte communities in soft waters in The Netherlands. I. Field observations. *Aquat. Bot.* 17: 139-155.
- Roelofs, J.G.M., Schuurkes, J.A.A.R. & Smits, A.J.M. 1984: Impact of acidification and eutrophication on macrophyte communities in soft waters in The Netherlands. II. Experimental studies. *Aquat. Bot.* 18: 389-411.
- Rørslett, B., 1967. Kilefjorden i Otra. Virkningen av vassdragsreguleringen på høyere akvatisk vegetasjon. Norsk institutt for vannforskning, rapport O-118/66, O-113/65, 16 s.
- Rørslett, B. 1984: Environmental factors and aquatic macrophyte response in regulated lakes - a statistical approach. *Aquat. Bot.* 19: 199-220.
- Rørslett, B. 1985: Regulation impact on submerged macrophyte communities in the oligotrophic lakes of Setesdal, South Norway. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22: 2927-2936.
- Rørslett, B. 1986: Vannvegetasjon i Venneslafjorden. Foreløpig vurdering av tilgroing 1986. Norsk institutt for vannforskning, rapport O-86094, 25 s.
- Rørslett, B. 1987a: Statistics of the underwater light field: An empirical model. *Internat. Rev. ges. Hydrobiol.* 72: 1-25.
- Rørslett, B. 1987b: A generalized spatial niche model for aquatic macrophytes. *Aquat. Bot.* 29: (i trykk)
- Rørslett, B. 1987c: An integrated approach to hydropower impact assessment. I. Environmental features of some Norwegian hydro-electric lakes. *Hydrobiologia*: (under trykning)
- Rørslett, B. & Agami, M. 1987: Downslope limits of aquatic macrophytes: A test of the transient niche hypothesis. *Aquat. Bot.* 29: (i trykk)
- Rørslett, B., Green, N.W. & Kvalvågnæs, K. 1978: Underwater stereophotography as a tool in aquatic biology. *Aquat. Bot.* 4: 73-81.
- Rørslett, B. & Hvoslef, S. 1986: Makrovegetasjon i norske innsjøer. II. Empiriske art-areal relasjoner. *K. norske Vidensk. Selsk. Mus. Rapp. Bot. Ser.* 1986, 2: 76-87.
- Rørslett, B., Tjomsland, T., Løvik, J.E., Lydersen, E., Mjelde, M. & Grande, M. 1981: Undersøkelse av Øvre Otra. Norsk institutt for vannforskning, rapport O-72198 IV, 180 s.
- Saltveit, S.J. 1983: Fiskeribiologiske undersøkelser i forbindelse med planer om bygging av Hekni kraftverk, Aust-Agder. Del 1. Fisk. Laboratorium for ferskvannsekologi og innlandsfiske (LFI), rapport nr. 56, 39 s.
- Sand-Jensen, K. & Rasmussen, L. 1978: Macrophytes and chemistry of acid streams from lignite mining areas. *Bot. Tidsskr.* 72: 105-112.
- Schuurkes, J.A.A.R., Kok, C.J. & Den Hartog, C. 1986: Ammonium and nitrate uptake by aquatic plants from poorly buffered and acidified waters. *Aquat. Bot.* 24: 131-146.

- Tvede, A.M. 1982: Hekni kraftverk i Otra. Mulige endringer i vann-temperatur og isforhold ved utbygging. NVE/Hydrologisk avdeling, iskontoret, rapport 3-82, 10 s.
- Wetzel, R.G., Brammer, E.S. & Forsberg, C. 1984: Photosynthesis of submersed macrophytes in acidified lakes. I. Carbon fluxes and recycling of CO₂ in Juncus bulbosus L. Aquat. Bot. 19: 329-342.
- Wright, R.F. 1984: Water chemistry: Interactions of stream regulation and acid precipitation. I: Lillehammer, A. & Saltveit, S.J. (red.), Regulated rivers: 71-80. Universitetsforlaget, Oslo.

ORDFORKLARINGER

- Detritus*: dødt, ikke nedbrutt, plantemateriale.
- Elodeider*: (langskuddsplanter) planter med ofte lange, flytende stengler. Næringsopptak fra vann og bunn. Stor forekomst av enkelte arter kan være tegn på god næringstilgang.
- Flytebladsvegetasjon*: under medianvannstand, med flyteblad. Rotfestet (nymphaeider), eller frittflytende (lemnider).
- Isoetider*: (kortsquddsplanter) planter med blader samlet i rosett, ofte uten stengel. Typisk for næringsfattige lokaliteter og steder med vannstandsveksling.
- Makrovegetasjon* : vegetasjon av store, iøynefallende planter (i motsetninger til mikroskopiske alger og frittssvende plankton). Omfatter gjerne karplanter, bregneplanter, og noen moser og kransalger.
- Median vannstand*: en vannstand som holdes 50% eller mer av tida.
- Nisje*: det sett av miljøfaktorer, og verdier av disse, som skal til for at en plante kan forekomme og evt. formere seg. Dersom de nødvendige faktorene er funksjoner av voksestedets plassering (langs en dybdegradient, f.eks.) kan nisjen avbildes i et nisjerom med tilhørende koordinater. Nisjerommet har tid som én koordinat.
- PAR*: Fotosyntetisk aktiv stråling (bølgelengde 400-700 nm). Tilsvareer omtrent "hvitt" lys slik menneskeøyet oppfatter det.
- Strandvegetasjon* (overvannsvegetasjon) - forekommer også over median vannstand, med skudd over vannoverflaten. Se vannveg. De mest typiske artene kalles helofytter.
- Tidsvindu*: tidskoordinat i nisjerommet (se dette).
- Undervannsvegetasjon* - normalt aldri over median vannstand, ned-senkede planter (isoetider, elodeider). Se vannvegetasjon.
- Vannplanter*: Arter som normalt hører til i vannvegetasjonen.
- Vannvegetasjon*: all vegetasjon som finnes under median vannstand. Brukt som samlebegrep for: flyteblads- og undervannsvegetasjon, ikke medregnet strandvegetasjon.
- z-koordinater*: Avvik fra medianvannstand (+ over, - under). Brukes til å angi utbredelse av planter. Er ikke det samme som dyp (nivå og dyp forveksles ofte i limnologiske arbeider).