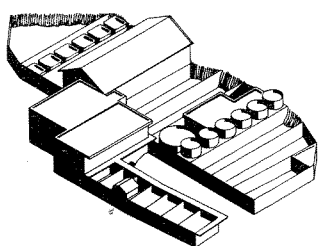


OR-2163



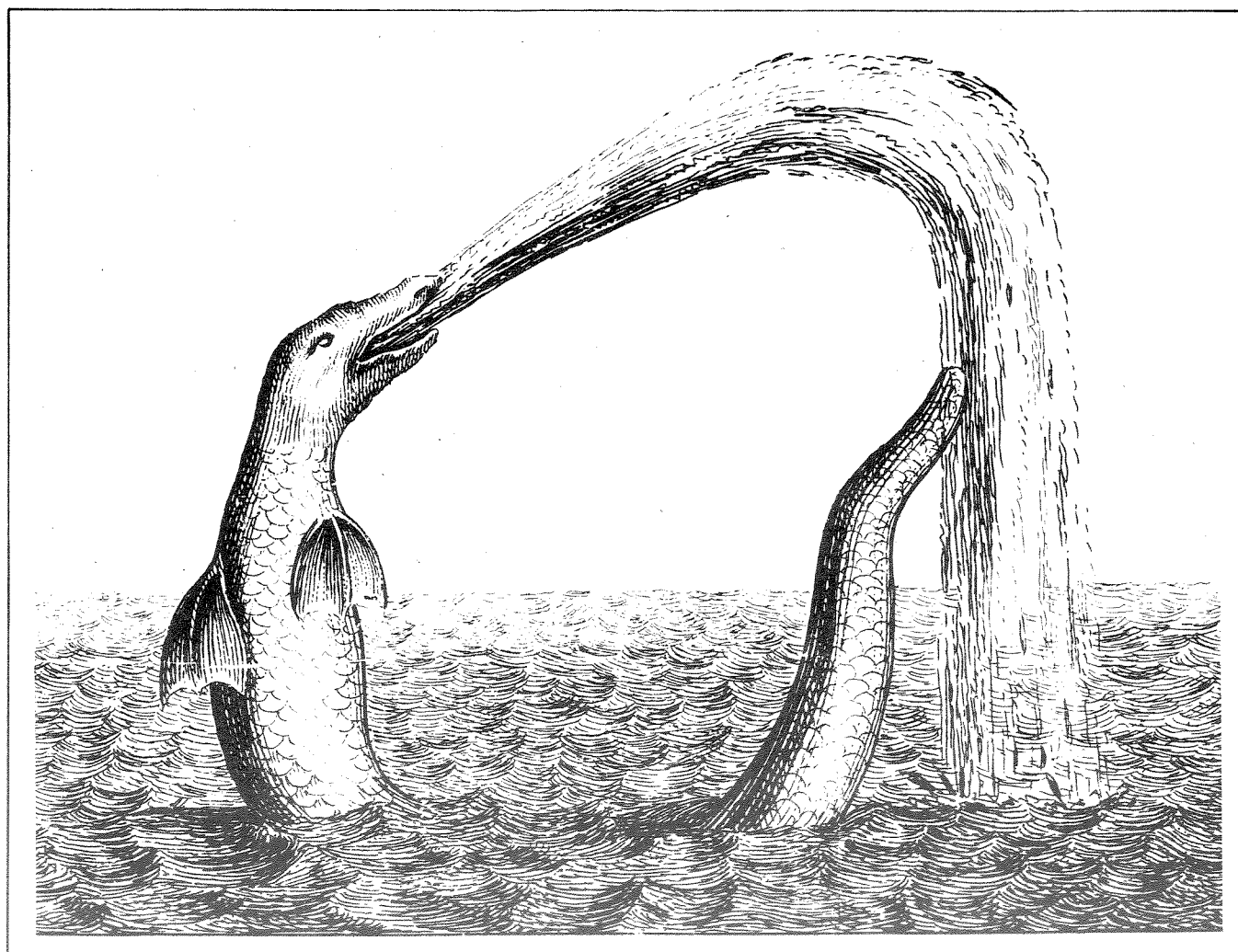
# Solbergstrand

## Marin Forskningsstasjon

O - 8814301

## Miljøvirkninger av kjølevannsutslipp.

En litteratur-gjennomgang



Norsk institutt for vannforskning



NIVA

# NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

## Hovedkontor

Postboks 33, Blindern  
0313 Oslo 3  
Telefon (02) 23 52 80  
Telefax (02) 39 41 29

## Sørlandsavdelingen

Grooseveien 36  
4890 Grimstad  
Telefon (041) 43 033  
Telefax (041) 42 709

## Østlandsavdelingen

Rute 866  
2312 Ottestad  
Telefon (065) 76 752

## Vestlandsavdelingen

Breiviken 5  
5035 Bergen - Sandviken  
Telefon (05) 95 17 00  
Telefax (05) 25 78 90

Prosjektnr.:

0-88143

Undernummer:

01.

Løpenummer:

2163

Begrenset distribusjon:

Ja.

Reportens tittel:	Dato:
Miljøvirkninger av kjølevannsutslipp - En litteraturgjennomgang.	20.10.1988
	Prosjektnummer:
	0-88143
Forfatter (e):	Faggruppe:
Torgeir Bakke John Arthur Berge Ivar Haugen	Marin økologi
	Geografisk område:
	Antall sider (inkl. bilag):
	45

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
Statkraft/Statoil/Norsk Hydro.	

Ekstrakt:
Det er utarbeidet en rapport over kunnskap om miljøvirkninger av kjølevannsutslipp til marine resipienter basert på tilgjengelig litteratur for perioden 1980-88. Rapporten danner basis for revisjon av program for økosystemeksperimentet: Kombinerte effekter av kjølevann og utslipp fra landbasert oppdrett på marine gruntvannssamfunn.

4 emneord, norske:

1. Kjølevann
2. Temperatur
3. Miljøeffekter
- 4.

4 emneord, engelske:

1. Cooling water
2. Thermal effluent
3. Environmental effects
- 4.

Prosjektleder:

  
Torgeir Bakke

For administrasjonen:

  
Tor Bokn

ISBN - 82-577-1449-6

0-8814301

MILJØVIRKNINGER AV KJØLEVANNSUTSLIPP - EN LITTERATURGJENNOMGANG

NIVA, 31. august 1988

Prosjektleder:Torgeir Bakke,

Medarbeidere:John Arthur Berge,  
Ivar Haugen

## SAMMENDRAG

På oppdrag av STATKRAFT, STATOIL, og NORSK HYDRO skal NIVA i perioden 1988-1991 gjennomføre et økosystemeksperiment på Solbergstrand med kombinert belastning av kjølevann og utslipp fra landbasert fiskeoppdrett på marine gruntvanns-samfunn i bassenger. I denne forbindelse har NIVA foretatt en litteraturstudie over miljøvirkninger av kjølevannsutslipp på marine resipienter. Oversikten skal danne grunnlag for revisjon av planene for økosystemeksperimentet.

Rapporten sammenfatter faglitteratur fra perioden 1980-88. Den er basert på EDB litteratursøk, bibliografier og referanselitteratur. Mye av aktuell litteratur er vanskelig tilgjengelig som intern- og oppdrags-rapporter, og oversikten er ikke fullstendig for disses vedkommende. Rapporten er begrenset til effekter gjennom temperaturpåslag. Bruk av begroingshindrende kjemikalier er ikke behandlet.

Kjølevann påvirker sjøvannets oksygeninnhold både gjennom endring i løselighet av oksygen og ved å forskyve balanse mellom oksygenforbruk og produksjon. Slutteffekten er ikke entydig.

Kjølevannsutslipp kan gi øket turbiditet via resuspensjon av bunnsedimenter, som igjen kan virke negativt på organismene (nedslamming, redusert filtreringseffektivitet).

Temperatur har fundamental virkning på hastighet av biologiske prosesser som produksjon, vekst, formering og atferd. Akklimatisering, bl.a. gjennom regulering av enzymaktiviteter, vil delvis dempe temperatureffektene. Det er likevel påvist at varmpåslag kan forskyve balansen mellom en organismes energiopptak og -forbruk og derved ha innflytelse på den tilgjengelige energi for vekst og formering. Virkning av dette varierer med årstid. Det finnes eksempler på at forhøyet vintertemperatur har ført til øket energibehov, uten at dette er dekket gjennom tilsvarende økning i næringstilførsel, og med sulting som resultat.

Det er ikke sannsynlig at aktuelle temperaturpåslag i kaldtempererte regioner vil overskride organismers overlevelsesgrense, men det kan forventes at overtemperaturen vil bli høy nok til å forhindre at enkelte kaldtvannsarter kan formere seg.

Kjølevannsutslipp har vist seg å forskyve perioder for vekst og formering, og kan endre en populasjons generasjonstid. Både for igangsetting av kjønnsmodning og for utløsning av formeringsatferd er

det påvist terskelverdier i temperatur. For egg og larveutvikling vil øket temperatur virke gunstig gjennom å korte ned utviklingstiden.

Kjølevann synes i liten grad å påvirke frekvens av sykdom og parasitter. Toksisk virkning av miljøgifter øker med øket temperatur, men temperaturen synes å ha liten innflytelse på virkningen av kronisk miljøgiftbelastning.

Litteraturen har ikke gitt eksempler på at overtemperatur har hatt ringvirkning fra en art til en annen gjennom artenes biologiske samspill, selv om slike virkninger kan postuleres.

Kjølevannsutslipp har klart vist å kunne endre artssammensetningen i samfunn både på hard- og bløtbunn. Utslipp har favorisert varmetolerante opportunistiske alger og dyr, og dette er til dels andre arter enn de opportunistene man finner ved organisk anrikning (eutrofi). Endringer i total artsrikhet og diversitet er påvist, men ikke i entydig retning. Virkningene er meget lokale.

Eksisterende undersøkelser har begrenset verdi for forutsigelser om virkninger på norsk kystøkologi. Hovedmengden av litteratur skriver seg fra varmere strøk der overskridelse av øvre temperaturtoleransegrenser er realistisk. Forhold rundt kjernekraftverk i Sverige og Danmark er noe mer relevante, men skiller seg fra norske forhold gjennom langt større ferskvannspåvirkning, som i seg selv er en stressfaktor, og gjennom annen inntaks- og utslippsteknikk. Erfaringene fra andre undersøkelser er imidlertid egnet grunnlag for å formulere hypoteser om virkninger på individnivå.

Litteratungjennomgangen har pekt på en del forhold ved kjølevannseffekter det kan være viktig å poengtere sterkere i økosystemeksperimentet. Dette er først og fremst forhold mellom energiopptak og -forbruk hos utvalgte arter til ulike sesonger, reproduksjonssuksess og forskyvning av reproduksjonsperioder, forskyvning i relativ tetthet av ulike arter og økologiske grupperinger (eksempelvis opportunistene), og temperatureffekter formidlet gjennom biologisk samspill. Dette er momenter som kan settes opp mot analog erfaring andre steder, eller som ikke synes å ha vært behandlet i særlig grad i tidligere undersøkelser.

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

Side

1. INNLEDNING	3
2. KILDER	3
3. VIRKNINGER AV TEMPERATUR (MEKANISMER)	4
3.1 Virkning på fysisk/kjemiske miljøforhold	4
3.1.1 Turbiditet	4
3.1.2 Oksygenforhold	5
3.2 Temperaturens virkning på biologiske prosesser	5
3.2.1 Algers toleranse, produksjon og vekst	5
3.2.2 Næringsopptak, fysiologi, aktivitet hos dyr	7
3.2.3 Formeringsevne	8
3.2.4 Parasitt- og sykdomsfrekvens	9
3.2.5 Innvirkning på toleranse for miljøgifter	10
3.3 Temperaturs virkning på tidspunkter og sesongvariasjon	10
3.3.1 Aktivitetsperioder	11
3.3.2 Forskyvning av perioder for vekst og reproduksjon	11
3.3.3 Modningstid, livslengde, antall generasjoner pr år	12
3.4 Kjølevanns virkning på samfunnsstruktur (artssammensetning, interaksjon mellom arter, diversitet, dominans)	12
3.5 Virkning av kjølevann på ulike typer marine samfunn	13
3.5.1 Kjølevannseffekter på hardbunn	14
3.5.2 Kjølevannseffekter på bløtbunn	15
4. LITTERATURENS RELEVANS FOR NORSKE MARINE KYSTFORHOLD	19
5. LITTERATURENS RELEVANS FOR DET PLANLAGTE ØKOSYSTEM-EKSPERIMENT	20
6. OPPSUMMERING	20
7. LITTERATURFORTEGNELSE	22-37

## 1. INNLEDNING

På oppdrag av STATKRAFT, STATOIL, og NORSK HYDRO skal NIVA i perioden 1988-1991 gjennomføre et eksperiment med kombinert belastning av kjølevann og utslipp fra landbasert fiskeoppdrett på marine gruntvanns-samfunn i bassenger. I denne forbindelse er NIVA i brev fra STATKRAFT av 3 mai. 1988 blitt bedt om å foreta en litteraturstudie av virkningene av kjølevannsutslipp. Denne oversikten skal danne basis for en revisjon av opplegg for eksperimentet.

Rapporten sammenfatter resultatene av litteraturundersøkelsen. Da den skal være et redskap til revisjon av eksperiment-opplegget, er arbeidet begrenset til effekter av oppvarmet kjølevann, dvs. av temperaturøkning på marine organismer og miljøer. Det er lagt vekt på virkninger av temperaturer i intervallet 0-20<sup>0</sup>C siden dette vil være de realistiske betingelser både for eksperimentet og for kjølevannsutslipp til norske kyst- og fjordresipienter. Der det ikke finnes data fra marine forhold, og ferskvannsresultater kan være relevante, er disse tatt med. Oversikten tar ikke med effekter av tiltak for å forhindre begroing i kjølevannssystemer, eksempelvis klorering. Vi har heller ikke tatt med virkninger på organismer som blir sugd inn i kjølevannssystemer.

Rapporten tar ikke sikte på å gi noen fullstendig oversikt over kjølevannsproblematikken. Den konsentrerer seg om nyere litteratur, vesentlig slik som ikke er referert i tidligere litteraturoversikter om kjølevann utarbeidet av NIVA. En liste over disse rapportene er gitt i Appendix 1, og den herværende rapport bør ses i sammenheng med disse.

## 2. KILDER

Oversikten dekker vesentlig perioden 1980-1988, og tar utgangspunkt i litteratursøk og referanselitteratur.

Det er søkt på EDB-basene: 'Compendex, Oceanic Abstracts, Aquatic Science and Fisheries Abstracts, Georef., Fluidex, Water resources Abstracts og Waternet. Stikkordkombinasjoner har vært Cooling water/marine/estuarine og Thermal effluent/marine/estuarine.

Av referanselitteratur er oversikten først og fremst basert på "Marine Pollution Research Titles" (MPRT), som utgis månedlig av Marine Biological Association, U.K. MPRT har et eget kapittel som lister opp ny litteratur på varme-forurensning, både fra tidsskrifter, bøker og diverse oppdragsrapporter.

Annen sentral litteratur har vært en serie rapporter utgitt av Statens Naturvårdsverk, Sverige om undersøkelser ved svenske kjernekraftverk. De av disse som er benyttet er angitt i Kap. 7.

Litteratursøk og referansejournaler viser at hovedmengden av undersøkelser som er foretatt rundt eksisterende kraftverk, foreligger som internrapporter eller oppdragsrapporter som det har vært vanskelig å få tak i innen aktuell tidsramme. Informasjon om disse undersøkelsene er derfor i stor grad basert på publiserte oversiktsartikler for emnet. En sentral kilde er Journal of Water Pollution Control Federation (JWPFA) som hvert år presenterer en oversiktsartikkel med tittel "Thermal Pollution". Denne dekker forrige års litteratur. Den er dominert av amerikansk litteratur, men dekker også i rimelig grad europeiske og andre arbeider. Et annet sentralt verk har vært Water Science and Technology Vol 15, 1983 som er litteraturen fra et symposium om kjølevannseffekter holdt i Danmark 1982. I tillegg er sentral oversiktslitteratur på temperaturs innflytelse på det marine miljø gjennomgått (Kinne 1970, Newell & Branch 1980, og McLusky & al 1986).

### 3. VIRKNINGER AV TEMPERATUR (MEKANISMER)

#### 3.1 Virkning på fysisk/kjemiske miljøforhold

Foruten temperaturheving i en sone rundt et utslipp kan kjølevannet også virke indirekte via miljøet. De to faktorene som er fremhevet er økning i turbiditet og reduksjon i oksygennivå som følge av øket forbruk.

##### 3.1.1 Turbiditet

Kjølevannsutslipp representerer i mange tilfeller transport av store vannmengder pr. tidsenhet og i nærheten rundt et utslipp kan vannbevegelsene gi endrede turbulensforhold. Dersom et utslipp foregår ved bunnen, som f.eks til kanaler og kjølevannsreservoarer, vil resuspensjon av bunnsedimentene gi øket turbiditet (eks. Gras 1981) og etter hvert endringer i sedimentsammensetningen på bunnen. Ved et kjølevannsutslipp sør for Los Angeles er turbid vann rapportert synlig opptil 2 km fra utslippet, og redusert vekst hos blåskjell nær utslippet ble tilskrevet økningen i suspendert uorganisk partikulært materiale som reduserte filtrerings-effektiviteten (Kastendieck & al 1981). Fra en undersøkelse i Australia (ferskvann) er endringer i bunnfauna i nærheten av et utlipp til en kjølevannskanal tilskrevet



endrede sedimentforhold, ikke temperatur (Saenger & al. 1982).

### 3.1.2 Oksygenforhold

Temperaturøkning virker både direkte og indirekte på mengden oppløst oksygen. Temperaturøkning vil føre til at sjøvannet holder på mindre oksygen, men modellbetraktninger viser at selv ved temperaturøkning på flere grader i resipienten vil tapet av oksygen ved full metning være ubetydelig (Gasparini 1983). Indirekte vil temperaturøkning øke både hastigheten i kjemisk og biologisk oksygenforbruk og hastigheten i oksygenproduksjon gjennom fotosyntese, og slutteffekten vil avhenge av balansen mellom disse prosessene. Gras (1983) rapporterer i en samleartikkel om franske kjølevannsutslipp at temperaturøkning som regel fører til reduksjon i oksygenivået i resipient-elver, men at fotosyntesen om våren og sommeren kan være intens nok til å kompensere for dette.

## 3.2 Temperaturens virkning på biologiske prosesser

Det er en overveldende litteratur om temperaturens innvirkning på enkeltprosesser hos marine alger og dyr. I denne oversikten er en fullstendig gjennomgang meningsløs, og det henvises til sentrale sammendragsartikler (eks. Kinne 1970). De fleste biologiske prosesser vil øke med økende temperatur til et toleransemaksimum, hvoretter de raskt stopper. Dette maksimum ligger i de alle fleste rapporterte tilfeller på over 20°C, men lavere verdier forekommer hos arktiske arter. Innenfor toleranseområdet vil prosessers hastighet ofte øke med en faktor på 2-5 for hver 10°C økning i temperaturen ( $Q_{10}=2-5$ ). Dette gjelder ved en bestemt akklimatiseringstemperatur. Akklimatisering til temperaturer i ytterkanten av toleranseområdet fører ofte til at toleransegrensene utvides. Slik akklimatisering vil også generellt føre til at prosessers hastighet gradvis justeres i retning av den som forekommer i det optimale temperaturområdet. Virkningen av høy eller lav temperatur blir derved dempet.

### 3.2.1 Algens toleranse, produksjon og vekst

Nyere litteratur gir en del opplysning om temperaturtoleranse hos aktuelle makroalger fra norske farvann.

Lee & Brinkhuis (1986) har vist at sukkertare (Laminaria saccharina) sporofytten får nedsatt vekst allerede ved temperaturer over 16°C, og at veksten stoppet helt ved temperaturer over 20°C. Lee & Brinkhuis (1986) mener at L. saccharina kan overleve i ytterkant av sitt

utbredelsesområde gjennom at gametofytten tåler mer enn sporofytten, og Bolton & Lüning (1982) har vist at artens gametofyt overlevde 23°C, men ikke 24°C.

For enkelte arter er overlevelsestemperaturen høyere: Chondrus crispus 28°C (Lüning et al. 1986), Cladophora spp. over 30°C (Cambridge et al. 1987), Callophyllis laciniata 24°C (Yarish et al. 1987). Andre arter igjen har lavere temperaturgrenser for overlevelse. Butare (Alaria esculenta) følger 16° isoterme for august (Sundene 1962). Fingertare (Laminaria digitata) forsvinner ved temperaturer over 20°C (Sundene 1964). Sundene (1963) viste at Chorda tomentosa sporofytten stoppet all vekst ved temperaturer over 15°C, mens gametofytten overlevde 25°C. Den ble imidlertid ikke fertil ved temperaturer over 10-12°C. Sydgrensen for C. tomentosa synes derfor å være kontrollert av vintertemperaturen. Utslipp av kjølevann i et område kan derfor godt heve vintertemperaturen til over det akseptable for denne algen. I Danmark har Møller & Dahl-Madsen (1983) vist at overtemperaturer på 1° - 2°C gir målbare effekter på de benthiske samfunnene.

Russell (1987) har vist at blæretang (Fucus vesiculosus) har en utbredelse som ligger mellom 5°C og 20°C isoterme for august måned. Han hevder videre at blæretang viser en utpreget lokal tilpasning, at det nærmest er en populasjonsmosaik. Temperaturens betydning for vekst er avhengig bl.a. av saltholdigheten. Ved 34 o/oo er temperaturen ifølge Russell ikke avgjørende for vekst. I områder som langs danskekysten med nedsatt saltholdighet, vil temperaturen derimot virke inn på veksten. Dette stemmer med observasjonene til Møller & Dahl-Madsen (1983).

Oversikt over utbredelse av benthiske alger og høyere planter i nærheten av danske kjølevannsutslipp viser at større arter som ålegress (Zostera) og F. vesiculosus reduseres, mens vekstbetingelsene for grønnalger og blågrønnalger forbedres (Møller & Dahl-Madsen 1983).

Litteraturen gir både eksempler på alger hvor fotosyntesen er direkte funksjon av temperatur og hvor den er vesentlig uavhengig av temperaturen. Fotosyntesehastigheten hos et mikroalgesamfunn på danske strender (Rasmussen & al 1983) viste lineær positiv sammenheng med temperaturen opp til optimumstemperaturen, og ville derfor innstille seg på en ny hastighet ved temperaturendring fra kjølevann. For andre arter er det hevdet (Finenko 1978) at akklimatisering til lav temperatur fører til økning i mengde/aktivitet av fotosyntese-enzymmer, som igjen øker fotosyntesekapasiteten. Hos L. saccharina er det eksperimentelt påvist at aktiviteten hos enzymmer knyttet til

fotosyntesen er temperaturavhengig på en slik måte at reell fotosyntese og derved vekst er nær konstant over temperaturintervallet 5-20°C (Davison & Davison 1987). Den skulle derfor kunne tilpasse seg en overtemperatur fra et kjølevannsutslipp slik at vekstraten holdes konstant. En annen brunalge, Ectocarpus siliculosus, har vist at populasjoner i forskjellige klimatiske soner har forskjellig vekstmønster (Bolton 1983), og at dette antakelig er en genetisk tilpasning til temperaturklima. En slik alge ville også forventes å vise små endringer i vekstmønster ved kjølevannspåvirkning.

### 3.2.2 Næringsopptak, fysiologi, aktivitet hos dyr

En viktig faktor for en arts overlevelse er forholdet mellom energiopptak og energiforbruk. Differansen mellom disse er den energi som er tilgjengelig for vekst og produksjon av avkom. De prosesser som inngår i dette energiregnskapet er næringsopptak, utnyttelse av næringen, forbruk av energi gjennom respirasjonen, og utskillelse av potensiell energi gjennom ekskresjon. Alle disse påvirkes i ulik grad av temperaturøkning. En relativt ny oversikt over temperaturens innflytelse på energibalanse hos dyr er gitt av Newell & Branch (1980). Imidlertid er det få dyrepopulasjoner hvor man har undersøkt energibudsjettet i detalj, primært fordi det er svært ressurskrevende.

I Sør-England ble energibudsjettet for to populasjoner blåskjell sammenliknet gjennom en periode på 2 år (Bayne & Widdows 1978). Den ene av populasjonene var influert av et kjølevannsutslipp. Undersøkelsene viste at denne populasjonen hadde høyere energiforbruk gjennom vintermånedene, uten at dette ble kompensert med øket energiopptak. Faktisk ble energiopptaket redusert på grunn av høyt partikkelinnhold i vannet. Resultatet var at populasjonen her viste negativ vekst gjennom vinteren, mot positiv vekst i den upåvirkede populasjonen. En liknende effekt av kjølevannsutslipp er blitt observert hos abbor i Forsmark biotestsjø, der øket oksygenforbruk grunnet høy temperatur om vinteren ikke kunne kompenseres med tilsvarende økning i inntak av energi (Neuman pers. inf.), og fisken sultet. Neuman (1983) angir også som forklaring til en negativ utvikling av fiskefaunaen ved Oskarshamn kraftverk i Sverige både at temperaturhevingen øket matbehovet og at dette ikke ble tilfredsstilt fordi aktuelle byttedyr (snegl og muslinger) var sterkt redusert.

Temperaturendring kan virke inn på aktivitet og gjennom dette på næringsopptak og overlevelse. Vanligvis er det nedre toleransegrense som her er kritisk, fordi den forhindrer aktiviteter som kan være vesentlige som beskyttelse. Graveaktivitet hos Macoma balthica

(Finland) var klart redusert ved 4°C sammenliknet med 16°C (Eldon & Kristoffersson 1978). Hos mollusker fra tropiske strøk er graving rapportert å stoppe ved 10°C (McLachlan & Young 1982). Tap av graveevnen gjør dyra sterkt utsatt for predasjon. Selv om det er mindre sannsynlig innenfor det aktuelle temperaturområdet 0-20°C, skal man ikke se bort fra at kjølevannsutslipp kan virke tilsvarende negativt på kaldtvannsarters aktivitet i øvre enden av toleranseområdet. Spiseaktivitet hos purpursnegl var sterk nedsatt ved 5°C, men ble også redusert pga. varmestress ved 20°C (Stickle & al. 1985)

### 3.2.3 Formeringsevne

Temperatur kan virke inn på flere ledd i formeringen: på mengde energi tilgjengelig for gonadeproduksjon, formeringsatferd og utvikling av sporer, egg og larver.

Undersøkelser av temperatureffekter på alger er i første rekke knyttet til temperaturens betydning for vekst og overlevelse, og derved utbredelsesmønster. De fleste alger har en komplisert livscyklus med flere generasjoner. Hos enkelte brunalger kan disse generasjonene være svært forskjellige (f.eks. hos Laminariaceene), og de kan også ha ulik temperaturtoleranse, som vist av bl.a. Lee & Brinkhuis (1986) og Bolton & Lüning (1982) for Laminaria og Sundene (1963) for Chorda. Hos andre, særlig blant rødalgene, kan de forskjellige generasjonene være helt identiske.

Sundene (1963) har vist at Chorda tomentosa ikke blir fertil dersom temperaturen overstiger 10<sup>o</sup>-12<sup>o</sup>C. For kaltvannsalger vil det generelt gjelde at i tillegg til at veksten hemmes ved høye temperaturer, så vil høye temperaturer også hindre alger i å bli fertile.

I blåskjellpopulasjonene nevnt ovenfor (Bayne & Widdows 1978), er det hevdet at perioden med negativt energibudsjett falt sammen med produksjonen av kjønnsceller, noe som i andre forsøk hadde gitt skade både på formeringsintensiteten (fekunditet) og på overlevelsessevne hos larvene. Harrelson & al. (1988) refererer undersøkelser fra Sovjet som viser at selv kort inkubering til temperaturer med liten differanse kan gi betydelig forskjell i hastighet av gonadeutvikling og kjønnsfordeling i en populasjon fisk (Blicca bjoerkna).

For formeringsatferd er det påvist terskelverdier i temperatur. Gyting utløses vanligvis ved at temperaturen kommer over et visst nivå (eks. Kruse & Tyler 1983), og ved manipulering med temperatur kan man eksperimentelt stimulere eller forhindre gyting. Kinne (1970) refererer undersøkelser gjort av Crisp (1957) som viser at temperatur

under 10°C i flere måneder var nødvendig for å utløse formeringsatferd (kopulasjon) hos rur (Balanus balanoides). Dyr som ble holdt ved temperatur mellom 15 og 18°C ville ikke kopulere. Effekter av varmtvannspåslag vil derfor generelt være at formeringsatferd utløses tidligere enn normalt.

Utviklingshastighet hos egg og larver som funksjon av temperatur er undersøkt i en rekke arbeider og dette er gitt bred behandling bl.a. i Kinne (1970). Det er lite prinsipielt nytt i arbeider publisert senere. Som oftest er det en positiv og kontinuerlig sammenheng mellom utviklingshastighet og temperatur innen toleranseområdet. Siden lang utviklingstid i egg/larvefase er ugunstig på grunn av faren for predasjon vil en beskjeden temperaturøkning i utgangspunktet være gunstig. En noe spesiell effekt av temperatur er beskrevet av Kinne (1970, s. 461), ved at larver av enkelte bivalver endrer sitt valg av føde som funksjon av temperatur. Ved lav temperatur var larvene avhengig av mikroalger med tynne cellevegger, ved høyere temperatur kunne de også konsumere tykkveggede mikroalger.

#### 3.2.4 Parasitt- og sykdomsfrekvens

En av de viktigste konsekvenser av stress i alminnelighet er minsket motstandskraft for sykdom og parasitter (Sinderman 1984). Temperaturer utenfor optimalområdet vil derfor øke faren for infeksjon. For parasittisme vil infeksjonsfaren være bestemt både av parasittens og vertens toleranseområde.

Eksperimentelt er det påvist at resistens mot sykdomsutbrudd ved virusinfeksjon (IPN-virus) hos yngel av bekkerye var effektiv ved 5°C, men ikke ved 10 og 15°C (Lapierre & al. 1986). I en oversikt over forholdene rundt franske kjølevannsutslipp har man ikke kunnet påvise noen generell økning i bakteriemengdene (Gras 1983). Det har vært en viss bekymring angående mulig økning av patogene encellede dyr (amøber), men noen konklusjoner om dette kunne man ennå ikke trekke. Det var også blitt gjennomført en 2 års studie av parasittisme i ferskvannsfisk uten at man hadde kunnet påvise økning i parasittfrekvens som følge av kjølevannsutslipp. På bakgrunn av at det generelt er sammenheng mellom forekomst av sykdom og parasitter i østers (Crassostrea) og temperatur ble dette undersøkt som funksjon av et kjølevannsutslipp til Delaware Bay (Tinsman & Maurer 1986). En økning i sykdom eller parasittfrekvens kunne ikke påvises, men graden av "infisering" med en kommensal børstemark var signifikant øket som følge av kjølevannet. De referer også til tidligere arbeider der letal virusinfeksjon var påvist hos østers holdt i kjølevann.

Det bør i dette avsnitt nevnes et annet kjølevannsfenomen i sammenheng med parasittisme. Dixon & al. (1981) rapporterte at alger (Macrocystis) nær et kjølevannsutslipp ved Santa Barbara hadde en uvanlig høy begroing av mosedyret Membranipora, så intenst at det førte til tap av bladene. Årsaken ble postulert å være at larver av mosedyret, innsugd i kjølevannet, ble akutt stimulert til nedslag av temperatursjokket i varmevekslerne.

### 3.2.5 Innvirkning på toleranse for miljøgifter

En omfattende oversikt over hvordan temperatur og saltholdighet virker inn på tungmetallers toksisitet hos marine dyr er gitt av McLusky & al. (1986). I en rekke responsflate-figurer viser de hvordan ulike metaller virker inn på ulike dyrs overlevelsestid. Med få unntak viser dette at overlevelsestiden ved en gitt konsentrasjon av et metall synker med økende temperatur og med synkende saltholdighet. Reduksjon i overlevelsestid med en faktor på 2-3 for hver 10 °C temperaturøkning er angitt som generell regel av Sprague (1985). Som ved biologiske prosesser nevnt tidligere vil akklimatisering kunne redusere denne negative innvirkning av temperaturøkning. Sprague (1985) antyder at temperaturens innvirkning på en kronisk "ikke-effekt"-grense er liten, og at det er denne grensen som betyr noe for organismene i miljøet. Videre gis det eksempler fra andre typer miljøgifter som viser at det er stor spredning i hvordan temperatur modifierer toksisiteten. Et viktig eksempel i denne sammenheng er gitt av Stegeman (1979) som viser at det fysiologiske forsvar mot oljehydrokarboner (cytochrome P-450) i fisk var inaktivt ved 6.5°C, men ble aktivert ved 16.5°C.

For planktonalger er det rapportert synergisme-effekter (Younge et al. 1979) ved at Euglena gracilis etter 3 timers eksponering ved 20°C med 1 mg/l Cr som CrO<sub>3</sub> viste liten effekt. Ved 31,5°C og eksponering i 1 time var E. gracilis like følsom for 0,001 mg/l Cr som den tidligere var for 10 mg/l Cr.

### 3.3 Temperaturs virkning på tidspunkter og sesongvariasjon

Periodisitet og sesongvariasjoner er særpreg ved økologiske samfunn og populasjoner, ikke minst i tempererte og arktiske områder med store sesongmessige svingninger i klima. De to viktigste drivkreftene for sesongvariasjon er temperatur og lys. Ulike prosesser i et samfunn styres forskjellig av lys og temperatur, og i et dynamisk stabilt samfunn er prosessene tilpasset hverandre. Dersom den ene endres

unormalt, f.eks. ved temperaturpåslag, vil dette kunne gi forskyvning av enkelte prosesser og ikke andre, og samfunnsdynamikken vil endres ("match-mismatch" teorien).

### 3.3.1 Aktivitetsperioder

Virkning av temperatur på aktivitet er tatt opp tidligere. Ved kronisk temperaturpåslag til et område som har naturlig sesongfluktuasjon i temperatur vil dette føre til at terskelverdi for utløsning av bestemte aktivitetsmønstre nås tidligere i vårsesongen og at aktiviteten (dersom den er kontinuerlig) holder seg lenger ut over høsten. Slik forskyvning er hyppig påvist eksperimentelt (se f.eks. Newell 1979). Konklusjoner fra en arbeidsgruppe om kjølevannsproblemer (Gasparini 1983) hevder videre at endring i "life cycle timing" er observert lokalt ved 5-6<sup>0</sup>C overtemperatur i ferskvann, uten at det henvises til mer detaljert informasjon.

### 3.3.2 Forskyvning av perioder for vekst og reproduksjon

Både vekst og reproduksjon vil i større eller mindre grad være styrt av omgivelsenes temperatur, og for disse prosesser er det også optimalområder. Den undersøkte litteratur omtaler i liten grad slike effekter spesifikt for kjølevannsutslipp, men ved Forsmark og Oskarshamn utslippene i Sverige antyder rutinemessige undersøkelser av sild at gyteaktiviteten utløses tidligere som følge av varmpåslaget (SNV 1984a,b). Det samme er funnet for sjøanemonen Anthopleura elegantissima (Jennison 1978). Bamber (1985) sammenliknet en populasjon av isopoden Cyathya carinata fra en kjølevannskanal i England med populasjoner fra Østersjøen og Biscaya og fant at den engelske populasjonen egentlig tilsvarte den nordlige populasjonen, men at den som følge av temperaturpåslaget ( $\Delta t=8-10^0C$ ) hadde tilpasset seg samme sesonger for vekst og formering som den sydlige populasjonen.

En kan også sannsynliggjøre potensielle effekter av varmpåslag ved å sammenlikne periodisitet i områder med noe ulike naturlige temperaturforhold. I Nederland har en mangeårig studie vist at vekstperioden hos muslingen Macoma balthica er direkte bestemt av temperaturen slik at sen start på vekstsesongen er korrelert med kalde vintre (Beukema & al 1985). Vekstsesongen er videre begrenset til temperaturintervallet 4-16<sup>0</sup>C. Denne undersøkelsen er nærmere beskrevet nedenfor (Kap. 3.5.2). Kruse & Tyler (1983) konkluderer etter en 13 års studie av reproduksjon hos lomreflyndre (Parphrys vetulus) følgende om temperaturpåvirkning: hastighet i gonadeutvikling var omvendt relatert til bunntemperatur om sommeren, gyting ble forhindret

ved temperatur under  $7.8^{\circ}\text{C}$  og forsinket ved hurtige økninger i bunntemperatur.

### 3.3.3 Modningstid, livslengde, antall generasjoner pr år

Temperatur vil kunne påvirke utviklingstid til kjønnsmodnet stadium og derved livslengde og antall generasjoner pr år. I et eksperiment med pungreke (*Mysis relicta*) ble nyklekkede larver dyrket ved  $4$  og  $8^{\circ}\text{C}$  med nok næring. Ved høyeste temperatur ble kjønnsmodning nådd etter 8 måneder og dyrene hadde da gjennomløpt 12-13 skallskifter. De som ble dyrket ved  $4^{\circ}\text{C}$  gjennomløp bare 8 skallskifter på samme tid. Det ble beregnet at pungreker som gjennomlevde første sommer med  $8^{\circ}\text{C}$  ville fullføre livssyklus på 1 år. Dersom sommertemperaturen var  $4^{\circ}\text{C}$  ville livssyklus ta to år (Berril & Lasenby 1983). Det er videre hevdet generellt (Kinne 1978) at temperatur styrer organutvikling mer enn den styrer vekst og produksjon, siden sistnevnte er sterkere influert av interaksjon med en rekke miljøforhold.

### 3.4 Kjølevanns virkning på samfunnsstruktur (artssammensetning, interaksjon mellom arter, diversitet, dominans).

Det er i flere sammenhenger postulert at kjølevannsutslipp vil endre artssammensetningen i resipienten mot øket relativ forekomst av varmekjære arter. Adams & al (1970) beskriver forutsigelser om dette for et kraftverk i midtre California der resipienttemperaturen ville øke med  $2-6^{\circ}\text{C}$ . Senere undersøkelser viste at forutsigelsene holdt stikk, men i et meget begrenset område rundt utslippet.

Kjølevannsutslipp til elven Maas i Belgia har ført til overtemperatur på  $2-3^{\circ}\text{C}$  og også her har dette favorisert utviklingen av varmetolerante arter (Harrelson & al. 1984). I influenssonen for kjølevannsutslipp til Kent-estuarier er det påvist dominans av opportunistiske arter som er tolerante for termisk stress, og ikke de opportunistarter man vanligvis finner forbundet med organisk belastning (Bamber & Spencer 1984).

Det ser ikke ut til å være noen entydig endring i artsrikhet som følge av kjølevannsutslipp. I resipienten for Ringhals kjernekraftverk i Sverige er det ikke påvist endringer i bunnfaunaen som kan tilskrives kjølevannet (Smith 1984a), mens det ved Oskarshamn kraftverk ble påvist en tydelig, men midlertidig reduksjon i antall faunaarter (Grimås 1979, Smith 1984b). I nærområdene for Barsebäckstasjonen er det påvist en generell økning i arts- og individtall.



Det er heller ikke entydige effekter av kjølevann på diversitet. I Kent-estuariet var det en klar reduksjon i diversiteten på bløtbunn grunnet dominans av opportunister (Bamber & Spencer 1984). Logan & Maurer (1975) fant klart øket diversitet i et estuarium i Delaware, og mente at de betydelige fluktuasjoner i miljøfaktorer i området forhindret utvikling ut over et "pionersamfunn" der diversitetet ofte kan være høy og dominans lav.

I samfunn der interaksjon mellom arter er utviklet vil temperaturens innvirkning på en art kunne få indirekte konsekvenser for andre arter. Slike årsakssammenhenger er lette å postulere, men vanskelig å vise med fakta. Vi har ikke funnet slike forhold påvist i den litteratur om kjølevannsutslipp som er gjennomgått, men et illustrerende tilfelle fra naturlig temperaturpåvirkning er beskrevet av Adams & al. (1982) fra ferskvann i Canada. Her ble en karpfisk (Micropterus salmoides) påvirket gjennom tap av byttedyr i rett størrelse grunnet uvanlig kald vinter. Dette førte til selektiv dødelighet hos små individer av Micropterus av en bestemt årsklasse, med ringvirkninger på populasjonsstrukturen.

I et uberørt samfunn i norske kystnære områder finner en vanligvis lett 50-100 arter av makroskopiske alger og dyr pr m<sup>2</sup>. For de fleste av disse mangler kunnskap om betingelser for vekst. Spesielt gjelder dette de sublittorale artene. Det er derfor problematisk å spå utfallet av et temperaturpåslag på 2-5<sup>0</sup>C i et slikt samfunn. Selv om en hadde hatt detaljerte opplysninger om betingelser for vekst hos de fleste av disse artene ville det være uhyre vanskelig å forutsi effekter av et slikt varmpåslag fordi temperatureffekten på interaksjoner mellom de ulike artene ikke kan forutsies utifra vekstbetingelsene for den enkelte art.

### 3.5 Virkninger av kjølevann på ulike typer marine samfunn

I den sammenheng litteraturundersøkelsen er gjort ligger hovedvekten på temperaturvirkninger på bunnsamfunn. Slike samfunn av helt eller delvis stasjonære organismer vil integrere belastningen over tid, og indikere langtidsvirkninger. Med de fleste eksisterende kjølevannsutslipp, som ledes ut i relativt grunne farvann, vil bunnsamfunnene være biotoper med stor sannsynlighet for å bli berørt. Av praktiske grunner er oversikten delt i hardbunns- og bløtbunnsamfunn.

### 3.5.1 Kjølevannseffekter på hardbunn

Hardbunnssamfunn på grunne områder karakteriseres ved stort innslag av fastsittende organismer og er som oftest dominert av benthiske makroalger. Samfunnsstruktur i littoralen vil i vesentlig grad være regulert av fysiske forhold (lys, temperatur, saltholdighet, tidevann og bølger), mens biologisk interaksjon gjør seg gradvis mer gjeldende i sublittoralen.

Selv om de fleste kjølevannsutslipp skjer til områder dominert av løsmassebunner, er det som oftest et islett av svaberg eller større stein som danner grunnlag for hardbunnssamfunn i resipienten. I Norge er hardbunn en dominerende biotop i grunne områder. Som tidligere nevnt viser oversikt over utbredelse av benthiske alger i nærheten av danske kjølevannsutslipp at ålegress (Zostera) og blæretang (Fucus vesiculosus) ble redusert, og grønnalger og blågrønnalger stimulert (Møller & Dahl-Madsen 1983). Undersøkelser av den marine vegetasjonen rundt Barsebäck-stasjonen er rapportert av Nyquist (1983). Flyfotoregistreringer gjort 1966 og 1981 viste at vegetasjonen i influensområdet i 1981 avvek markant fra områdene rundt. F. vesiculosus var forsvunnet helt, og vegetasjonen var dominert av grønnalger, rødalgen Ceramium, brunalgen Ectocarpus og Zostera. Overtemperaturen i området var imidlertid høy: 6-12<sup>0</sup>C. Tapet av F. vesiculosus hadde sin årsak i ugunstig forhold mellom primærproduksjon og oksygenforbruk. Nyquist viser også til at liknende tap av F. vesiculosus er blitt rapportert ved kjølevannsutslipp i Maine. En økning i frekvens av rødalger synes også være generell i kjølevannsresipienter. Ved Ringhals kjernekraftverk er det påvist forstyrrelse av algevegetasjonen inntil 400 meter fra utslippspunktet (Braun 1980), gjennom øket forekomst av tarmgrønske (Enteromorpha) på bekostning av brun- og rødalger. Her var det også påvist store ubevokste steinpartier. Overtemperaturen har vært ca 5<sup>0</sup>C. Tilsvarende rapporter om littoral hardbunn/fauna er ikke funnet, men Møller & Dahl-Madsen (1983) antyder rundt danske utslipp at blåskjell er redusert og strandkrabber (Carcinus maenas) tilsvarende øket.

Undersøkelser av kjølevannseffekter på hardbunn under tidevannssonen finnes så godt som ikke, bortsett fra at undersøkelserne fra de svenske kraftverkene nevnt ovenfor også dekker sublittoralen ned til maksimalt 6 meters dyp. Man må generelt forvente at temperaturtoleransen minsker med øket dyp (Kinne 1970).

### 3.5.2 Kjølevannseffekter på bløtbunn

Med bløtbunnsfauna forstås en organisme som lever på eller i bunnen i områder med deposisjons-bunn. Dyrene som lever i slike områder får den vesentligste delen av sin energi gjennom sedimentering av partikler fra den eufotiske sone.

Effekter av varmpåslag på bløtbunnsfauna kan sammenfattes i de effekter som virker indirekte via fysiske parametere i sedimentet (sedimentrespirasjon,  $O_2$ -innhold) og de som virker direkte på biologiske prosesser hos bløtbunnsorganismer (vekst, reproduksjon) eller som manifesterer seg der. Eksempel på det siste er eventuelle effekter på primærproduksjon og sedimentering som kommer til uttrykk som endringer i næringstilgangen for bløtbunnsorganismer. For alle effektene vedkommende kan disse komme til uttrykk på populasjonsnivå og på samfunnsnivå.

Indirekte effekter på bløtbunnsfauna kan opptre som en funksjon av øket oksygenforbruk. Både oksygenforbruket som skyldes kjemisk oksydasjon i sedimentet og det som skyldes respirasjon av benthiske dyr øker med temperaturen (Pamatmat, 1968). Asmus (1981) fant at det kjemiske og totale oksygenforbruket i sediment i Vadehavet mellom 0 og 20°C økte etter følgende relasjoner:  $y=0.51Ex0.14t$  (kjemisk) og  $y=3.67Ex0.12t$  (total), der  $y$  er oksygenforbruket i  $ml/m^2$  h og  $t$  er temperaturen (°C). Dette betyr at en ved et temperaturpåslag på 5.7 °C får en fordobling av det totale oksygenforbruket i sedimentet. I de fleste tilfeller ligger det totale oksygenforbruket i sediment i intervallet 15-50  $ml/m^2$  h. Oksygenforbruket i sediment er også avhengig av mengden av organisk materiale som sedimenteres og den bakterielle nedbrytning (mineralisering) av dette. I forbindelse med fiskeoppdrett har en sett at lave oksygenverdier i bunnvannet fortrinnsvis opptre om høsten når bunnvannet, og dermed også sedimentet, har sin maksimaltemperatur (Brown & al. 1987). I naturlige systemer har en vanligvis en maksimal sedimentering av organisk materiale under våroppblomstringen. Mineraliseringen av organisk materiale som følge av en våroppblomstring kan imidlertid bli noe forsinket fordi den lave temperaturen på dette tidspunkt er begrensende for mineralisering (Rudnick og Oviatt, 1986). I nærområdet av et termisk utslipp kan en derfor tenke seg en noe mindre forskyvning i tid mellom sedimentering og mineralisering. En må imidlertid presisere at disse forhold er lite studert i forbindelse med kjølevannsproblematikk.

Ved øket oksygenforbruk i sedimentet minker det overflatesjikt som

makrofauna kan leve i, og dersom sedimentet blir anoksisk til overflaten vil massedød opptre. Slik episodiske hendelser er knyttet til tider på året med høy temperatur i bunnvannet (Santos og Simon, 1980).

Rekruttering i et bløtbunnssamfunn skjer dels via pelagiske larvestadier som kan fraktes over store avstander, dels ved lokal rekruttering for dyr som har direkte utvikling. Mange organismer i tempererte farvann foretar årlig gyting. En rekke faktorer er aktuelle for å utløse reprodutiv aktivitet. Mest aktuelle er sannsynligvis mattilgang og temperatur. For temperatur har en få holdepunkter for effekter fra kjølevannsutslipp på bløtbunnsorganismer. Dette skyldes nødvendigvis ikke at effekter ikke er detekterbare, men snarere at slike forhold ikke er undersøkt. Fra undersøkelser på hardbunn er det imidlertid tegn som tyder på at det for noen arter er mattilgangen som er avgjørende og ikke temperaturen som sådan. For rur-arten Chthamalus fissus er reproduksjonen registrert på samme tid av året både i en utslippskanal (overtemperatur 5-10°C) og i naturlige nærliggende populasjoner med samme næringstilgang. For andre arter som Tetraclita squamosa fant en imidlertid at reproduksjonsyklus var nær knyttet til temperatur (Hines 1978, i Grahame & Branch 1985). For denne arten var reproduksjon forskjøvet 6 måneder slik at den foregikk ved samme temperatur som i naturlige populasjoner.

Vekst hos marine bløtbunnsorganismer ved kjølevannsutslipp er lite undersøkt. En kan imidlertid sannsynliggjøre potensielle effekter ved å sammenligne forandringer av vekst hos samme art i områder med noe ulike temperaturforhold. Beukema & al. (1985) fant at veksten hos Macoma baltica var begrenset til temperaturer som lå mellom 4 og 16°C. Vekstsesongen hos adulte var direkte bestemt av temperaturen slik at sen start korrelerte med kalde vintre, mens tidlig start var korrelert med varme vintre. Ved temperaturer over 16°C stoppet veksten og vekten av bløtdelene ble redusert. I samme undersøkelse ble det også antydnet at mens temperaturen bestemte tidsintervallet for vekst, så var det mattilgangen som bestemte veksthastigheten. For den totale årlige vekst var det imidlertid mattilgangen som var avgjørende og ikke lengden på vekstsesongen.

I den sørlige delen av utbredelsesområdet (Frankrike, Seinen) har M. baltica en bedre mattilgang om høsten enn i de mer nordlige områder (Vadehavet). Dette fører til at en i nordlige områder, til tross for at en har temperaturer innenfor intervallet 4-16°C om høsten, ikke får noen synlig vekst. I Seinen derimot får en pga. bedre mattilgang også en vekstsesong om høsten (Beukema & Desprez 1986). Denne

veksts sesongen er imidlertid ikke stor nok til at årlig vekst totalt sett blir større i Frankrike enn lenger nord der veksts sesongen er kortere men vekstraten større. Årsmidlet for vanntemperatur ligger 2°C høyere i Seinen-området enn i sammenligningsområdet i Vadehavet.

Dette er eksempel på effekter av kombinasjonen av mattilgang og temperatur på en bløtbunnsorganisme. I dette tilfellet la temperaturen rammen for når positiv vekst kunne foregå mens det var andre faktorer (mattilgang) som ga de største effekter når temperaturkravet var tilfredsstillt. Dette illustrerer godt samvirket mellom flere faktorer, og at flere miljøkrav må være tilfredsstillt samtidig for at tilfresstillende vekst skal forekomme. I forbindelse med kjølevannsutslipp i det marine miljø er vanligvis den sonen som blir påvirket (overtemperatur mer enn 1°C) relativt liten i forhold til resipienten. Rammen for næringstilgangen for benthiske dyr er bestemt av resipienten. En skulle derfor anta at en ved et kjølevannsutslipp neppe får store endringer i næringstilgangen, eller i den tiden på året når tilgangen er optimal. Den tidsperiode hvor vekst kan foregå kan imidlertid bli forskjøvet. Ut fra erfaringer med Macoma kan det få negative konsekvenser dersom tidspunktet for optimal næringstilgang pga. temperaturforskyvning ikke faller sammen med den tidsperioden som har de temperaturbetingelser som gir vekst.

Fra flere områder i Europa har en undersøkelser som belyser effekter av termiske utslipp på bløtbunnsfauna. I et relativt grunt område i River Medway Estuariet, Kent, England ble det i influensområdet til kjølevannsutslippet fra det kull- og oljefyrte kraftverket Kingsnorth Power Station (Max flow=68 m<sup>3</sup>/s, Δt=10°C) utført en undersøkelse av bunndyrsamfunn (Bamber & Spencer 1984). De fant klare faunaforandringer i nærsonen (3 km langs en grunn kanal) der artsantallet og diversitet var signifikant redusert i forhold til stasjonen lengst fra utslippet. I influensområdet var faunaen dominert av noen få opportunistiske arter som er tolerante for termisk stress (Tubificoides benedini, Tubificoides amplivasatus, Caulerietta zetlandica, men også arter som Nereis diversicolor, Heteromastus filiformis og Nephtys hombergi ble funnet. Dette er alle arter som ble funnet i influensområdet gjennom hele året. Foruten disse hadde en også noen arter som kun var tilstede som immigranter i sommersesongen (Polydora ciliata, Pygospio elegans, Eteone longa og Phyllodoce mucosa og Capitella capitata). Disse sistnevnte artene ble imidlertid funnet på den mest fjerntliggende stasjonen hele året. Fraværet av immigranterne i influensområdet om vinteren tilskrives kjølevannsutslippet. Det ser derfor ut til at det ikke er de artene som en vanligvis finner i forbindelse med organisk stress (Polydora

ciliata, Pygospio elegans, Eteone longa, Phyllodoce mucosa og Capitella capitata) som dominerer i områder med termisk stress. I denne undersøkelsen ble det funnet en lavere diversitet nær utslippsområdet. Dette er imidlertid ikke noe universelt fenomen idet en i andre undersøkelser har funnet at kjølevanns utslipp også kan gi forhøyet diversitet pga. redusert konkurranse i det pionersamfunn som opptrer i områder med "moderat" belastning (Logan & Maurer 1975).

Undersøkelsen fra Kent har en noe begrenset relevans for norske forhold idet undersøkelsen er gjort i et meget grunt og beskyttet område der artsantallet er vesentlig mindre enn det en kan forvente i norske, ikke belastede kystområder. Imidlertid vil flere av de artene som ble funnet i undersøkelsen fra Kent, også opptre i norske kystnære bunndyrsamfunn.

I forbindelse med et utslipp av kjølevann ( $22\text{m}^3/\text{s}$ ,  $\Delta t=9^\circ\text{C}$ ) fra et kraftverk fyrt med fossilt brensel i Italia (Piombino) ble det utført en undersøkelse av eventuelle miljøeffekter (Crema & Bonvicini Pagliai 1980). Bunnprøver ble tatt langs tre transekter ut fra land i ulik avstand fra utslippspunktet. Undersøkelsen viste at en ikke fant endringer i bunnfaunasamfunnene som kunne tilskrives driften av anlegget. De forskjeller som ble funnet ble forklart med forskjell i dyp og ikke avstand fra anlegget.

Ved kjølevannsutslipp fra kjernekraftverk i Sverige er det utført undersøkelser av eventuelle effekter på bløtbunnssamfunn (Smith 1984a,b, Grimås 1979 og Ljuberg & Smith 1981). I resipienten til kjernekraftverket i Ringhals har en ikke kunnet påvise større forandringer i bløtbunnsfaunaen som kan tilskrives effekten av kjølevannet (Smith, 1984a). De forandringer som kunne spores (øket biomasse) reflekterte sannsynligvis delvis storskala forandringer over større havområder eller lokal tilførsel av organisk materiale. Etter igangsetting av kjernekraftverket i Oskarshamn fant en imidlertid forandringer i bunnfaunaen som kunne tilskrives kjølevannsutslippet. Flere arter forsvant og en fikk en dominans av et fåtall av arter (Grimås, 1979). Senere undersøkelser i samme området (Smith, 1984b) viste imidlertid at samfunnet ikke stabiliserte seg på et lavt artsnivå idet en etter 1978 fikk en økning i artsantallet. I nærområdene til kjølevannsutslippet fra Barsebäck fant en en økning i artsantall og individantall på bløtbunn (Ljuberg og Smith, 1981).

Generellt sett må en si at litteraturen som er gjennomgått ikke antyder noe entydig svar på hvordan et bløtbunnssamfunn reagerer på en termisk påvirkning.

#### 4. LITTERATURENS RELEVANS FOR NORSKE MARINE KYSTFORHOLD

En overveiende del av den litteratur som er produsert om termisk forurensning siden 1980 omhandler tropiske til varmtempererte områder. Unntakene er rapporter fra kjernekraftverk i Sverige, fra Storbritannia, Canada og tildels Nord-Amerika. Effekter i tropiske og subtropiske områder vil ofte være langt mer drastiske enn effektene antas å være i Norge. Dette har bl.a. sammenheng med at sjøvannets naturlige temperatur er så høy at et temperaturpåslag lett fører til verdier over letalgrensene for en rekke arter. Et annet moment som gjør erfaringen fra andre land mindre relevante er at de fleste utslippene skjer til ferskvanns- eller estuar-resipienter.

Også erfaringene fra Sverige og Danmark har begrenset verdi for norske forhold. Til tross for geografisk nærhet er disse lokalitetene forskjellig fra de norske, først og fremst på grunn av deres ferskvannspåvirkning. Ringhals i Sverige er i så måte det område som ligger nærmest, og som i store trekk likner Oslofjordens kyst. Det er imidlertid store naturgitte forskjeller mellom Ringhals og vest- eller nordnorsk kyst.

En annen årsak til at erfaringene fra Sverige har begrenset verdi er selve inntaks- og utslippsteknikken. I Sverige har man inntak og utslipp i overflaten. I Norge baserer man seg på dypinntak og utslipp under sprangsjiktet. I sommerhalvåret vil man derfor i Sverige få høyere utslippstemperatur enn i Norge fordi overflatetemperaturen på denne tiden er høyere.

Selv om mange fundamentale økologiske prosesser er de samme eller analoge langs vår kyst og i andre farvann, er artene som forekommer og deres interaksjon forskjellig. Faktorer som er viktige ett sted, trenger ikke være det et annet sted, og det finnes svært få tilfeller der trekk ved kjølevannseffekter på ønsket detaljnivå er "universelle".

I lys av det som er sagt foran vil det derfor være vanskelig å anvende kjente resipienteffekter av kjølevannsbruk i andre land som middel til å forutsi effekter i Norge. Derimot kan erfaringene fra utlandet benyttes som støtte for hypoteser om temperatureffektene på organismenivå. Man kan med andre ord ikke overføre økosystemeffektene, men i noen grad individeffektene.

## 5. LITTERATURENS RELEVANS FOR DET PLANLAGTE ØKOSYSTEM-EKSPERIMENT

Litteraturoversikten skal sammen med annen innhentet kunnskap danne basis for en revisjon av NIVAs eksperimentprotokoll for det planlagte økosystem-eksperiment på Solbergstrand. Denne revisjon skal gjøres i løpet av september, og det er derfor prematurt med en analyse av litteraturen for dette formål i dette kapitlet. Litteraturgjennomgangen har imidlertid pekt på en del forhold ved kjølevannseffekter det kan være viktig å konsentrere seg om i kjølevannsdelen av eksperimentet. Stikkord for dette er bl.a. forhold mellom energiopptak og -forbruk hos utvalgte arter til ulike sesonger, reproduksjonssuksess og forskyvning av reproduksjonsperioder, forskyvning i relativ tetthet av ulike arter og økologiske grupperinger (eksempelvis opportunister), og temperatureffekter formidlet gjennom biologisk samspill. Dette er enten momenter som kan settes opp mot analog erfaring andre steder, eller som ikke synes å ha vært behandlet i særlig grad i tidligere undersøkelser.

## 6. OPPSUMMERING

Rapporten sammenfatter faglitteratur fra perioden 1980-88 om virkninger av kjølevannsutslipp på marine resipienter. Den er basert på EDB litteratursøk, bibliografier og referanselitteratur. Mye av aktuell litteratur er vanskelig tilgjengelig som intern- og oppdragsrapporter, og oversikten er ikke fullstendig for disses vedkommende.

Virkningsmekanismer for temperatur på økologiske og biologiske faktorer er oppsummert. Kjølevann påvirker det fysiske miljø gjennom redusert oksygen og øket turbiditet. Temperatur har fundamental virkning på biologiske prosesser som produksjon, vekst, formering og atferd, men akklimatisering vil delvis dempe effektene. Sentralt er at varmpåslag kan forskyve balansen mellom energiopptak og -forbruk og derved ha innflytelse på tilgjengelig energi for vekst og formering. Virkning av dette varierer med årstid.

Kjølevannsutslipp har vist seg å forskyve perioder for vekst og formering, og kan endre en populasjons generasjonstid.

Kjølevann synes i liten grad å påvirke frekvens av sykdom og parasitter. Toksisk virkning av miljøgifter øker med øket temperatur, men temperaturen har liten innflytelse på virkningen av kronisk miljøgiftbelastning.

Kjølevannsutslipp kan endre artssammensetningen i et samfunn og



favoriserer varmetolerante opportunistiske alger og dyr. Endringer i diversitet er påvist, men ikke i entydig retning. Virkningene er meget lokale.

Eksisterende undersøkelser har begrenset verdi for forutsigelser om virkninger på norsk kystøkologi, men er egnet til å formulere hypoteser om virkninger på individnivå.

Oversikten skal danne grunnlag for revisjon av planene for et økosystemeksperiment på Solbergstrand vedrørende virkninger av kjølevann og fiskeoppdrett.

## 7. LITTERATURFORTEGNELSE

Fortegnelsen inneholder foruten den litteratur som er sitert i teksten, også øvrige titler fra bibliografien Marine Pollution Research Titles som er ansett for å være av relevans for emnet fra perioden 1980-1988. Dette er ment som en huskeliste for relevant litteratur som det ikke har vært mulig å få tak i innen rapportens tidsfrist.

Abbe, G.R. Blue crab (Callinectes sapidus Rathbun) populations in mid-Chesapeake Bay in the vicinity of the Calvert Cliffs Nuclear Power Plant, 1968-1981. J. Shellfish Res., 3, 183-193, 1983.

Achituv, Y., and Cook, P.A. The influence of temperature variations and thermal pollution on various aspects of the biology of the prawn Palaemon pacificus (Stimpson). J.exp.mar.Biol.Ecol., 74, 291-302, 1984.

Adams, J.R., Gormly, H.J. & Doyle, M.J.Jr., 1970. Thermal investigations in California. Mar. Poll. Bull., 1, 140-142.

Adams, S.M., McLean, R.B. & Huffmann, M.M., 1982. Structuring of a predator population through temperature-mediated effects on prey availability. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39, 1175-1184.

Agnew, D.J., and Taylor, A.C. Effects of oxygen tension, temperature, salinity, and humidity on the survival of two intertidal gammarid amphipods. [Gt Cumbrae Island] Mar.Ecol.Prog.Ser., 32, 27-33, 1986.

Almada-Villela, P.C., Davenport, J., and Gruffydd, L.D. The effects of temperature on the shell growth of young Mytilus edulis L. J.exp.mar.Biol.Ecol., 59, 275-288, 1982.

Ansell, A.D., Barnett, P.R.O., Bodoy, A., and Massè, H. Upper temperature tolerances of some European molluscs. I. Tellina fabula and T. tenuis. [Scottish and Mediterranean populastions compared] Mar.Biol., 58, 33-39, 1980.

Ansell, A.D., Barnett, P.R.O., Bodoy, A., and Massè, H. Upper temperature tolerances of some European molluscs. III. Cardium glaucum, C.tuberculatum and C.edule. Mar.Biol., 65, 177-183, 1981.

Asmus, H., 1982. Field measuremnts on respiration and secondary

production of a benthic community in the Northern Wadden sea, N. J. Sea Res. 16, 403-413.

Bamber, R.N. The autecology of Cyathura carinata (Crustacea: Isopoda) in a cooling water discharge lagoon. [Medway estuary] J.mar.biol.Ass.U.K., 65, 181-194, 1985.

Bamber, R.N., and Coughlan, J. A survey of the marine benthos in the vicinity of Sizewell Power Station, June 1976. Lab.Note cent.Electr.res.Lab., No.RD/L/N40/80, 26p., 1980.

Bamber, R.N., and Spencer, J.F. The benthos of a coastal power station thermal discharge canal. [Kingsnorth Power Station, Medway estuary] J.mar.biol.Ass.U.K., 64, 603-623, 1984.

Bamber, R.N., and Spencer, J.F. The benthos of a coastal power station thermal discharge canal. [Kingsnorth power station, Medway estuary] Lab.Note cent.Elect.res.Lab., no. TPRD/L/2540/N83, (37p.), 1984.

Bamber, R.N. og J.F. Spencer, 1984. The benthos of a coastal power station thermal discharge canal. J. mar. biol. Ass. U.K., 64, 603-623.

Baourgade, B. Effets de l'échauffement des eaux de aux rejets de la centrale de Martigues-Ponteau sur les populations phytoplanctoniques locales. [Effects of the heated water discharged by the Martigues-Ponteau power plant on the local phytoplankton polpulations] In: France. Electricité de France. Influences des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. p.97-100. Paris, Electricité de France, 1977.

Barnett, P.R.O., and Hardy, B.L.S. Thermal deformations. In: Kinne, O., editor. Marine ecology: a comprehensive integrated treatise on life in oceans and coastal waters. Vol. V. Part 4. p.1769-1963. John Wiley and Sons, 1984.

Baron. G., Wajc, S.J., Billen, G., and Schmitz, J. Pollution thermique de l'estuaire de l'Escaut: prévision des effets bactériologiques et physio-chimiques. [Thermal pollution of the Escaut estuary: expectation of bacteriological and physio-chemical effects] In: France. Electricité de France. Influences des rejets thermique sur le milieu vivant en mer et en estuaire. p.321-336. Paris, Electricité de France, 1977.

Battaglia, A., and Coulet, J.L. Effet des contraintes thermiques sur

l'ichthyoplancton de la zone cotière. [Effect of a thermal stress on the ichthyoplankton of the coastal zone] In: France. Electricité de France. Influences des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. p.177-188. Paris, Electricité de France, 1977.

Bayne, B.L. & Widdows, J., 1978. The physiological ecology of two populations of Mytilus edulis L. Oecologia (Berl.), 37, 137-162.

Bellan-Santini, D, and Desrosiers, G. Action d'un rejet thermique sur le zoobenthos installé sur substrat dur (Site de Ponteau). [Effect of a thermal discharge on the zoobenthos of a hard substrata in the Ponteau bay] In: France. Electricité de France. Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. p.235-250. Paris, Electricité de France, 1977.

Berril, M & Lasenby, D.C., 1983. Life cycles of the fresh-water mysid shrimp Mysis relicta reared at two temperatures. Trans. Am. Fish. Soc., 112, 551-.

Beukema, J.J., Knol, E., and Cadee, G.C. Effects of temperature on the length of the annual growing season in the tellinid bivalve Macoma balthica (L.) living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. J.exp.mar.Biol.Ecol., 90, 129-144, 1985.

Beukema, J.J. og M. Desprez, 1986. Single and dual annual growing seasons in the tellinid bivalve Macoma baltica (L.). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 102, 35-45.

Bodoy, A. Etude de l'influence de la température, liée à la pollution thermique, sur la survie et la biologie de quelques mollusques des substrats meubles. In: France. Electricité de France. Influences des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. p.251-266. Paris, Electricité de France, 1977.

Bolton, J.J., 1983. Ecoclinal variation in Ectocarpus siliculosus (Phaeophyceae) with respect to temperature growth optima and survival limits. Marine Biology, 73, 131-138.

- Bolton, J.J., and Lüning, K. Optimal growth and maximal survival temperatures of Atlantic Laminaria species (Phaeophyta) in culture. Mar.Biol., 66, 89-94, 1982.
- Bonvicini Pagliai, A.M., Crema, R., Ioannilli, E., and Vitali, R. Spatial and temporal patterns of sandy bottom communities near a coastal power plant. In: International Commission Internationale...Ves Journées d'études sur les pollutions marines en Méditerranée. p. 815-822. Monaco, C.I.E.S.M., 1981.
- Boulot, F. Echauffement du milieu naturel induit par le rejet de centrales. In: France. Electricité de France. Influences des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. p.11-41. Paris, Electricité de France, 1977.
- Braun, R. von, 1980. Kylvattenutsläppens inverksan på bottenfloran utanför Ringhals Kärnkraftverk. SNV PM 1348.
- Brown, J.R., R.J. Gowen og D.S.mcLusky, 1987. The effect of salmon farming on the benthos of a Scottish sea loch. J.Exp. Mar. Biol. Ecol. 109, 39-51.
- Burton, D.T. Ventilation frequency compensation responses of three eurythermal estuarine fish exposed to moderate temperature increases. J.Fish Biol., 15, 589-600. 1979.
- Burton, D.T., Abell. P.R., and Capizzi, T.P. Cold shock: effect of rate of thermal decrease on Atlantic Menhaden. Mar.Pollut.Bull., 10, 347-349, 1979.
- Buxton, C.D., Newell, R.C., and Field, J.G. Response-surface analysis of the combined effects of exposure and acclimation temperatures on filtration, oxygen consumption and scope for growth in the oyster Ostrea edulis. Mar.Ecol.Prog.Ser., 6, 73-82, 1981.
- CNEXO/COB Etudes ecologiques d'avant-projets en Manche et Atlantique. [Draft ecological studies in the Channel and Atlantic] In: France. Electricité de France. Influences des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. p.353-374. Paris, Electricité de France, 1977.

- Cambridge, M.L., Breeman, A.M., Kraak, S., and Hoek, C. van den. Temperature responses of tropical to warm temperate *Cladophora* species in relation to their distribution in the North Atlantic Ocean. *Helgoländer Meeresunters.* 41, 329-354, 1987.
- Capuzzo, J.M. Impact of power-plant discharges on marine zooplankton: a review of thermal, mechanical and biocidal effects. *Helgoländer Meeresunters.*, 33, 422-433, 1980.
- Castel, J., Courties, C., and Poli, J.-M. Dynamique de copepode *Eurytemora hirundoides* dans l'estuaire de la Gironde: effet de la temperature. *Océanologica Acta, Special Volume*, 57-61, 1983 (publ. 1984).
- Chapelle, S. Aspects of phospholipid metabolism in crustaceans as related to changes in environmental temperatures and salinities. *Comp.Biochem.Physiol.*, 84B, 423-439, 1986.
- Chung, K.S., and Strawn, K. Heat tolerance of free-living estuarine animals to predict their survival in heated effluents. *Proc.Ann.Conf.S.E.Assoc.Fish Wildl.Agencies*, 31, 612-617, 1977.
- Claus, C., Holderbeke, L., Van, Maechelberghe, H., and Persoone, G. Nursery culturing of bivalve spat in heated seawater. *In: Tiews, K., editor. Aquaculture in heated effluents and recirculation systems. Vol. II. p.465-480. Berlin, Heeneman Verlagsgesellschaft, 1981.*
- Cotter, A.J.R., Phillips, D.J.H., and Ahsanullah, M. The significance of temperature, salinity and zinc as lethal factors for the mussel *Mytilus edulis* in a polluted estuary. *Mar.Biol.*, 68, 135-141, 1982.
- Coutant, C.C. Striped bass, temperature, and dissolved oxygen: a speculative hypothesis for environmental risk. *Trans.Am.Fish.Soc.*, 114, 31-61, 1985.
- Crema, R., and Pagliai, A.M.B. The structure of benthic communities in an area of thermal discharge from a ceastal power station. *Mar.Pollut.Bull.*, 11, 221-224, 1980.
- Darras, M., Donnars, P., and Pechon, P. Three dimensional numerical model for thermal impact studies. *In: Nihoul, J.C.J., and Jamart, B.M., editors. Three dimensional models of marine and estuarine dynamics. p.489-504. Elsevier, 1987. (Liege Colloquium, 1986)*

Davis, W.R., and Miller, D.C. Burrowing activities and sediment impact of Nephtys incisa. [heat] In: Jacoff, F.S., editor. Advances in marine environmental research... p.302-319. Narrangasett, Rhode Island, US Environmental Protection Agency, 1979. (EPA/600/9-79/035) (PB86 210119)

Davison, I.R. & Davison, J.O., 1987. The effect of growth temperature on enzyme activities in the brown alga Laminaria saccharina. Br. Phycol. J. 22, 77-87.

Dawes, C.J., and Tomasko, D.A. Physiological responses of perennial bases of Sargassum filipendula from three sites on the west coast of Florida. [to temperature, salinity and irradiance levels] Bull.mar.Sci., 42, 166-173, 1988.

Dawirs, R.R. Effects of temperature and salinity on larval development of Pagurus bernhardus (Decapoda, Paguridae). Mar.Ecol.Progr.Ser., 1, 323-329, 1979.

Deacutis, C. Use of a laboratory predator-prey test as an indicator of sublethal pollutant stress. [heat] In: Jacoff, F.S., editor. Advances in marine environmental research... p.290-301. Narrangasett, Rhode Island, US Environmental Protection Agency, 1979. (EPA/600/9-79/035) (PB86 210119)

Dean, D. Impacts of thermal addition and predation on intertidal populations of the blue mussel, Mytilus edulis L. [by Carnicus] Proc.natn.Shellfish.Ass., 69, 47-53, 1979.

Dean, T.A., and Deysher, L.E. The effects of suspended solids and thermal discharges on kelp. In: Bascom, W., Harris, L., and Sibley, G., editors. The effects of waste disposal on kelp communities. Papers from a symposium... p.114-135. Long Beach, Southern California Coastal Water Research Project Authority, 1983.

Devinny, J.S. Effects of thermal effluents on communities of benthic marine macroalgae. J.Environ.Managmt., 11, 225-242, 1980.

Dixon, J., Schroeter, S.C., and Kastendiek, J. Effects of the encrusting bryzoan, Membranipora membranacea, on the loss of blades and fronds by the giant kelp, Macrocystis pyrifera (Laminariales). [fouling stimulated near generating station outfall] J.Phucol., 17, 341-345, 1981.

Eldon, J. & Kristoffersson, R., 1978. Factors affecting the burrowing activity of Macoma balthica L. Ann. Zool. Fenn., 15, 127-.

Eraslan, A.H., Kim, K.H., and Harris, J.L. Thermal impact assessment of multi-power plant operations on estuaries. Trans.Amer.Nuclear Soc., 27, 140-141, 1977.

Essink, K. Thermal pollution. In: Essink, K., and Wolff, W.J., editors. Pollution of the Wadden sea area. Final report... p.60-61. Leiden, Stichting Veth tot Steun aan Waddenonderzoek, 1978. (Report 8)

FAO m/flere: Reports and Studies No. 24 Thermal discharges in the Marine environment, p. 1-44. 1984.

Finenko, Z.Z., 1978. Production in plant populations. Pp. 13-111 in: O. Kinne (Ed.) Marine Ecology, Vol IV. Wiley-Interscience.

Gasparini, R. 1983. Water quality and the discharge of cooling water into rivers, lakes and coastal waters. Wat. Sci. Tech., 15, 15-30.

Grahame, J. og G.M.Branch, 1985. Reproductive patterns of marine invertebrates. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 23, 373-398.

Grange, K.R. Environmental effects of cooling-water discharge into the ocean. 17p. Auckland, New Zealand, University of Auckland, New Zealand Energy Research and Development Committee, 1983. (Rept. No.96) (NTIS PB84 145812).

Gras, R.A., 1981. Impact of thermal power plants on aquatic ecosystems: the French experience. Wat. Sci. Tech., 15, 59-66.

Greer, G.L. Physical and chemical oceanographic data from Thornbrough Channel in the vicinity of the kraft mill at Port Mellom, B.C. 47p. West Vancouver, British Columbia, Department of Fisheries and the Environment, Pacific Environment Institute, 1978. (Fisheries and Marine Service Data Report No. 109).

Grimås, U. 1979. Bottenfaunaens utvekling 1962-1977 vid Oskarshamn's Karnkraftverk, Simpevarp, och några jamførelsesområden efter Østerkysten. Statens Naturvårdsverk, SNV PM 1165, 21 pp.



Hall, L.W., jr., Burton, D.T., Graves, W.C., and Margrey, S.L. Avoidance responses of estuarine fish exposed to heated-dechlorinated power plant effluents. *Envir.Sci.Technol.*, 18, 561-566, 1984.

Hannons, E.H., and Carrier, R.F. Documentation of data and literature relevant to the assessment of thermal power plant cooling system: effects of aquatic environment. In: Jensen, L.D., editor. Fourth National Workshop on entrainment and impingement. p.357-359. Melville, New York, Ecological Analysts, 1978.

Hari, J. Investigations on water temperature in winter in the surrounding of a thermal power plant. In: Germany, (DR). Institut für Meereskunde. Proceedings of the XI conference of Baltic oceanographers, Rostock, 24-27 April 1978. Volume 2. p.608-614. Institut für Meereskunde, 1978.

Harrelson, M.E., Hudson, J & Cravens, J.B., 1988. Thermal effects. Journal WPCF, 60, 978-983.

Hawes, F.B. Sizewell 'B' Power Station public enquiry: CEGB proof of evidence on: ecological consequences of the use of cooling water. 25p. Central Electricity Generating Board, 1982. (CEGB P29) [and chlorination].

Hines, A.H. Effects of a thermal discharge on reproductive cycles in Mytilus edulis and Mytilus californianus (Mollusca, bivalvia). Fishery Bull.Fish Wildl.Serv.U.S., 77, 498-503, 1979.

Hines, A.H. 1978. Biol.Bull. Woods Hole, 154, 262-281.

Hines, T. Effects of thermal effluents on reproduction in mussels and barnacles (waste heat management). 28p. Washington, D.D., National Science Foundation, Applied Science and Research Applications, 1974. (Rept. WHM-15).

Hoek, C. van den. Phytogeographic distribution groups of benthic marine algae in the North Atlantic Ocean. A review of experimental evidence from lift history studies. [lethal, and growth- or reproduction-limiting temperatures] Helgoländer Meeresunters., 35, 153-214, 1982.

Holland, A.F., and Hiegel, M.H. Results of benthic studies at Chalk Point. 379p. Annapolis, Maryland Department of Natural Resources, Power Plant Siting Program, 1981. (PPSP-CO-81-1) [PB81 212680]

Holland, A.F., Hiegel, M.H., Shaughnessy, A.T., Stroup, C.F., and Ross, E.A. Long-term benthic monitoring programs near the Morgantown and Calvert Cliffs power plants - third annual report. Volume I. Text. 84p. Annapolis, Maryland Power Plant Siting Program, 1985. (PPSP-CC-85-1) (NTIS PB85 197226).

Holland, A.F., Hiegel, M.H., Hoffman, H., and Stroup, C.F. Long term benthic monitoring programs near the Morgantown and Calvert Cliffs power plants - second annual report, Vol. I. Text. 102p. Annapolis, Maryland Power Plant Siting Program, 1983. (PPSP-CC-83-1-VI) (NTIS PB84 104512)

Holland, A.F., Hiegel, M.H., Hoffman, H., and Stroup, C.F. Long term benthic monitoring programs near the Morgantown and Calvert Cliffs power plants - second annual report. Vol. II. Tables and figures. 222p. Annapolis, Maryland Power Plant Siting Program, 1983. (PPSP-CC-83-1-V2) (NTIS PB84 104520)

Holland, A.S.F., Shaughnessy, A.T., Hiegel, M.H., and Stroup, C.F. Long-term benthic monitoring programs near the Morgantown and Calvert Cliffs power plant - fourth annual report. 224p. Annapolis, Maryland Power Plant Siting Program, 1985. (PPSP-CC-85-2) (NTIS PB86 119005)

Howells, G.D., and Langford, T.E. Effects of power station cooling water discharges on marine organisms in temperate waters. [and chlorine] Lab.Note cent.Elect.res.Lab., No. TPRD/L/2286/N82, [24p.], 1982.

Ilus, E., and Keskitalo, J. First experiences of the environmental effects of cooling water from the nuclear power plant at Loviisa (south coast of Finland). *Ophelia*. (Suppl.), 1, 117-122, 1980.

Jeftic, L., Kuzmic, M., Orlic, M., and Policastro, A.J. Investigations of Rijeka Bay in the framework of MEDPOL VI. [including thermal effluent] In: International. Commission Internationale... Ves journées d'études sur les pollutions marines en Méditerranée. p.901-910. Monaco, C.I.E.S.M., 1981.

Jennison, B.L., 1978. Effects of thermal effluents on reproduction in a sea anemone. In: Thorp, J.H. & Gibbons, J.W. (Eds.). Energy and Environmental Stress in Aquatic Systems. Tech. Inf. Cent., Springfield.

Kastendiek, J., Schroeter, S.C., and Dixon, J. The effect of the seawater cooling system of a nuclear generating station on the growth of mussels in experimental populations. Mar.Pollut.Bull., 12, 402-407, 1981.

Kaufman, Z.F. Dependence of the time of gamete maturation and spawning on environmental temperature in the Virginia oyster Crassostre virginica. Hydrobiol.J., 14, (4), 29-30, 1978. [publ. 1979]

Kennish, M.J. Effects of thermal discharges on mortality of Mercenaria mercenaria in Barnegat Bay, New Jersey. Envir.Geol., 2. 223-254. 1978.

Kennish, M.J., Roche, M.B., and Tatham, T.R. Anthropogenic effects on aquatic communities. [sewage; dredging; heat] In: Kennish, M.J., and Lutz, R.A., editors. Ecology of Barnegat Bay, New Jersey p.318-338. Springer Verlag, 1984.

Kerambrun, P., and Guerin, J.-P. Impact des chocs thermiques sur quelques activités enzymatiques non spécifiques chez l'annelide polychète Scolelepis fuliginosa. In: International. Commission Internationale... Ves journées d'études sur les pollutions marines en Méditerranée. p.847-856. Monaco, C.I.E.S.M., 1981.

Kinne, O. (Ed.) 1970. Marine Ecology, Vol I.(part I) Wiley-Interscience. 681 pp.

Kruse, G.H. & Tyler A.V., 1983. Simulation of temperature and upwelling effects on the English sole (Parophrys vetulus) spawning season. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 40, 230-.

Lapierre & al. 1986. Influence of water temperature and fish age on mortality in brook trout (Salvelinus fontinalis) infected with Infectious Pancreatic Necrosis Virus (IPNV). Aquaculture, 63, 81-.

Lapointe, B.E., Dawes, C.J., and Tenore, K.R. Interactions between light and temperature on the physiological ecology of Gracilaria tikvahiae (Gigartinales: Rhodophyta). II. Nitrate uptake and levels of pigments and chemical constituents. Mar.Biol., 80, 171-178, 1984.

Lapointe, B.E., Tenore, K.R., and Dawes, C.J. Interactions between light and temperature on the physiological ecology of Gracilaria tikvahiae (Gigartinales: Rhodophyta). I. Growth, photosynthesis and respiration. Mar.Biol., 80, 161-170, 1984.

Lee, J.-A., and Brinkhuis, B.H. Reproductive Phenologi of Laminaria saccharina (L.) Lamour. (Phaeophyta) at the southern limit of its distribution in the Northwest Atlantic Ocean. J.Phycol.22, 276-285, 1986.

Lindèn, O., and Jernelöv, A. The mangrove swamp - an ecosystem in danger. [includes pollution effects from waste dumping, oil pollution, herbicides and thermal pollution] Ambio, 9, 81-88, 1980.

Ljungberg, P. og S. Smith 1981. Botternfaunistiska undersökningar i anslutning till varvattenutslapp från kärnkraftverket i Barseback 1976-1979. Statens Natursvårdsverk Forskningsavdelingen, 62pp.

Logan, D.T. og D.Maurer, 1975. Diversity of marine invertebrates in a thermal effluent. Journal WPCF, 47, 515-523.

Loi, T.N., and Wilson, B.J. Macroinfaunal structure and effects discharges in a mesohaline habitat of Chesapeake Bay, near a nuclear power plant. Mar.Biol., 55, 3-16, 1979.

Lüning, K., Guiry, M.D., and Masuda, M. Upper Temperature tolerance of North Atlantic and North Pacific geographical isolates of Chondrus species (Rhodophyta). Helgoländer Meeresunters. 41, 297-306, 1986.

Mackenzie, B.R. Assessment of temperature effects on interrelationships between stage durations, mortality, and growth in laboratory-reared Homarus americanus Milne Edwards larvae. J.exp.mar.Biol.Ecol., 116, 87-98, 1988.

Margrey, S.L., Burton, D.T., and Hall, L.W., jr. Seasonal temperature and power plant chlorination effects on estuarine invertebrates. Arch.Envir.Contam.Toxicol., 10, 691-703, 1981.

Marsh, J.A., jr., and Doty, J.E. The influence of power plant operations on the marine environment in Piti Channel, Gum: 1975-76 observations. Tech.Rep.mar.Lab.Univ.Guam, no.26, 57p., 1976.

Marsh, J.A., jr., Chernin, M.I., and Doty, J.E. Power plants and the marine environment i Piti Bay and Piti Channel, Guam: 1976-1977 observations and general summary. Tech.Rep.mar.Lab.Univ.Guam, No.38, 93p., 1977.

McLachlan, A. & Young, N., 1982. Effects of low temperature on the burrowing rates of four sandy beach molluscs. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 65, 275-284.

McLusky D.S., Bryant, V. & Campbell, R., 1986. The effects of temperature and salinity on the toxicity of heavy metals to marine and estuarine invertebrates. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 24, 481-520.

Miller, D.S., and Brighthouse, B.A. Thermal discharges. A guide to power and process plant cooling water discharges into rivers, lakes and seas. 228p. British Hydromechanics Research Association, 1984. (not at MBA).

Mills, A., and Fish, J.D. Effects of salinity and temperature on Corophium volutator and C.arenarium (Crustacea: Amphipoda), with particular reference to distribution. [moulting, egg laying, and embryonic development; Dovey estuary] Mar.Biol., 58, 153-161, 1980.

Myers, E.P., and Ditmars, J.D. Ocean thermal energy conversion: environmental effects. In: Duedall, I.W., Kester, D.R., Park, P.K., and Ketchum, B.H., editors. Wastes in the ocean. Volume 4. Energy wastes in the ocean. p.163-192. Wiley, 1985.

Møller, B. & Dahl-Madsen, K.I., 1983. Biological monitoring of thermal effects of cooling water discharges from Danish power plants. Wat. Sci. Tech. 15, 89-99.

Nausch, M. The distribution of Streblospio shrubsolei, Alkmaria romijni and Fabricia sabella and their resistance to temperature, oxygen deficiency and hydrogen sulphide. Limnologica, 15, 497-501, 1984.

Neudecker, S. Effects of thermal effluent on the coral reef community at Tanguisson. Tech.Rep.mar.Lab.Univ.Guam, No.30, 55p., 1976.

Neudecker, S. Development and environmental quality of coral reef communities near the Tanguisson power plant. Tech.Rep.mar.Lab.Univ.Guam, No.41, 68p., 1977.

Newell, R.C., 1979. Biology of Intertidal Animals. Rustica Press, Cape, S. Africa. 781 pp.

Newell, R.C. & Branch, G.M. 1980. The influence of temperature on the maintenance of metabolic energy balance in marine invertebrates. Adv. Mar. Biol., 17, 329-396.

Nichols, B., Anderson, R., Bonta, B., Forman, E, and Boutwell, S. Evaluation of the effects of the thermal discharge on the submerged aquatic vegetation and associated fauna in the vicinity of the C.O. Crane generating station. 216p. McLean, Virginia, Science Applications Inc, 1980. (Maryland Power Plant Siting Program PPSP-CPC-80-1) (PB80 192313)

Nyquist, B.G., 1983. Undervattensvegetationens storskaliga utbredning och sammansättning i Barsebäcksområdet 1981. SNV PM 1660.

Nystrom, J.B., Hecker, G.E., and Moy, H.C. Heated discharge in an estuary: case study. J.Hydraul.Div., ASCE, 107, (HY11), 1371-1406, 1981.

Pamatmat, M.M., 1968. Ecology and metabolism of a benthic community on an intertidal sand flat. Int. Revue ges. Hydrobiol. 53, 211-298.

Paul, J.D. Upper temperature tolerance and the effects of temperature on byssus attachment in the queen scallop, Chlamys opercularis (L.) J.exp.mar.Biol.Ecol., 46, 41-50, 1980.

Pravdic, V., and Kurelec, B. An approach to the selection of scientific criteria for the siting of thermal effluents in the marine environment. In: International. Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Mediterranee. VIes journees d'etudes sur les pollutions marines en Mediterranee... p.515-518. Monaco, C.I.E.S.M., 1983

Price, A.H., Hess, C.T., and Smith, C.W. Observations of Crassostrea virginica cultured in the heated effluent and discharged radionuclides of a nuclear power reactor. Proc.nat.Shellfish Ass., 66, 54-68, 1976.

Rasmussen, M.B., Henriksen, K. & Jensen, A., 1983. Possible causes of temporal fluctuations in primary production of the microphytobenthos in the Danish Wadden sea. Marine Biology, 73, 109-114.

Russell, G. Spatial and environmental components of evolutionary change: interactive effects of salinity and temperature on *Fucus vesiculosus* as an example. *Helgoländers Meeresunters.* 41, 371-376, 1987.

Saenger, P., & al. 1982. Macrobenthos of the cooling water discharge canal of the Gladstone Power Station, Queensland. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 33, 1083-.

Santos, S.L. og J.L. Simon, 1980. Response of Soft-Bottom Benthos to Annual Catastrophic Disturbance in a South Florida Estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 3, 347-355.

Schneider, C.W. The effect of elevated temperature and reactor shutdown on the benthic marine flora of the millstone thermal quarry, Connecticut. *J.therm.Biol.*, 6, 1-6, 1981.

Siegel, P.R., and Wenner, A.M. Abnormal reproduction of the sand crab *Emerita analoga* in the vicinity of a nuclear generating station in Southern California. [caused by heat?; pesticides?; metals?; turbidity?] *Mar.Biol.*, 80, 341-345, 1984.

Smith, K.L., and Harwood, J.L. Lipid metabolism in *Fucus serratus* as modified by environmental factors. [light, temperature, Cd; Cu; Pb; Zn] *J.exp.Bot.*, 35, 1359-1368, 1984.

Smith, S., 1984a. Kontrollundersøkning av mjukbottenfauna 1972-1981 i Varø-Ringhals-området. Statens Natursvårdsverk, SNV PM 1902.

Smith, S., 1984. Bottenfaunaen vid Oskarshamns karnkraftverk (Simpevarp) under 1978-1983. Statens Naturvårdsverk, SNV PM 1800.

Snowden, R.J. The environmental input of a heated effluent in the Walney Channel, Cumbria. 552p. University of Lancaster, 1982. (Ph.D thesis).

Sprague, J.B., 1985. Factors that modify toxicity. Chapter 6 in Rand, G.M. & Petrocelli, S.R. (Eds.), Fundamentals of Aquatic Toxicology. McGraw-Hill, London.

Statens Naturvårdsverk, 1984a. Effekter av kylvattensutsläpp på strömning utanför Forsmarkverket. SNV rapport 12-06-1984.

Statens Naturvårdsverk, 1984b. Effekter av kylvattensutsläpp på strömning utanför Oskarshamnsverket. SNV PM no 1809.

Stegeman, J.J., 1979. Temperature influence on basal activity and induction of mixed function oxygenase activity in Fundulus heteroclitus. J. Fish. Res. Bd. Can., 36, 1400-1405.

Stickle, W.B., Moore, M.N. & Bayne B.L., 1985. Effects of temperature, salinity and aerial exposure on predation and lysosomal stability of the dogwhelk Thais (Nucella) lapillus (L.). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 93, 235-258.

Stora, G., and Romano, J.C. Mortality rates of two polychaetes in situ and in vitro under temperature and pollution stress. [detergents] Mar.Pollut.Bull., 13, 305-308, 1982.

Sundene, O., 1962. The Implications of Transplant and Culture Experiments on the Growth and Distribution on Alaria esculenta. Nytt Magasin for Botanikk, 9, 1962.

Sundene, Ove. Reproduktion and Ecology of Chorda tomentosa. Nytt Magasin for Botanikk, Vol. 10, 1963.

Sundene, Ove. The Ecology of Laminaria digitata in Norway in view of transplant experiments. Nytt Magasin for Botanikk, Vol, 11, 1964.

Talmage, S.S., and Opresko, D.M. Literature review: response of fish to thermal discharges. 101p. Oak Ridge, Tennessee, Oak Ridge National Laboratory, 1981. (NTIS EPRI-EA-1840).

Thompson, R.J., and Newell, R.I.E. Physiological responses to temperature in two latitudinally separated populations of the mussel, Mytilus edulis. In: Gibbs, P.E., editor. Proceedings of the 19th European Marine Biology Symposium. p.481-495. Cambridge University Press, 1985.

Thorp, J.H. and Gibbons, J.W., editors. Energy and environmental stress in aquatic systems. Selected papers from a symposium. US Department of Energy, Technical Information Center, 1978.

Tinsman, J.C. & Maurer, D., 1986. The relationship between disease in Crassostrea virginica (Gmelin) and thermal effluents in the Chesapeake-Delaware Bay area. Int. Revue ges. Hydrobiol., 71: 495-509.



Turnpenny, A.W.H., Langford, T.E., and Aston, R.J. Power Stations and fish. [U.K.] CEGB Res., (17), 27-39. 1985.

United Nations Environment Programme. GESAMP: thermal discharges in the marine environment. UNEP reg.Seas Rep.Stud., No. 45, 49p., 1984.

Vaugh, J.M., Landry, E.F., Vicale, T.J., and Dahl, M.C. Modified procedure for the recovery of naturally accumulated poliovirus from oysters. Appl.envir.Microbiol., 38, 594-598, 1979.

Vesey, G., and Langford, T.E. The biology of the black goby, Gobius niger L. in and English south-coast bay. [Stanswood Bay, Solent; cooling water discharge from Fawley power station] J.Fish.Biol., 27, 417-429, 1985.

Wright, D.A., Kennedy, V.S., Roosenburg, W.H., Castagna, M., and Mihursky, J.A. Temperature tolerance of embryos and larvae of five bivalve species under simulated power plant entrainment conditions: a synthesis. Mar.Biol., 77, 271-278, 1983.

Wright, D.A., Roosenburg, W.H., and Castagna, M. Thermal tolerance in embryos and larvae of the bay scallop Argopecten irradians under simulated power plant enrichment conditions. Mar.Ecol.Prog.Ser., 14, 269-273, 1984.

Yarish, C., Kirkman, H., and Lüning, K. Lethal exposure times and preconditioning to upper temperature limits of some temperate North Atlantic red algae. Helgoländer Meeresunters. 41, 323-327, 1987.

Youngue, W.H. jr., Berrent, B.L., and Cairns, J. jr. Survival of Euglena gracilis Exposed to Sublethal Temperature and Hexavalent Chromium. J.Protozool., 26(1), p.122-125, 1979.

APPENDIX 1

NIVA-publikasjoner om kjølevannsproblemer.

Haugen, I.N., Bakke, T., Kirkerud, L., Molvær, J., Rygg, B., 1980. Petrokjemianlegg på Kårstø. Programforslag. NIVA, rapport 0-80070, 16 sider pluss vedlegg 8 sider.

Haugen, I.N., Bakke, T., Molvær, J., 1980. Petrokjemianlegg på Kårstø. Foreløpig vurdering av resipientforholdene. NIVA, rapport 0-80070, 17 sider.

Erga, S.R., Haugen, I., Bakke, T., Heimdal, B., Molvær, J., Sørensen, K., 1981. Petrokjemianlegg på Kårstø. Primærproduksjonsprogram. Revidert utgave, 12.2.1981. NIVA, rapport 0-80070, 10 sider.

Haugen, I.N., Bakke, T., Bjerkeng, B., Dundas, I. (IBM), Erga, S.R., Green, N., Heimdal, B. (IBM), Kirkerud, L., Lichtenthaler, R. (SI), Pedersen, A., Rygg, B., Skei, J., Sukke, T., Sørensen, K., Søras, P. (NHL), Thendrup, A. (NHL), Tryggestad, A. (NHL), Wassmann, P. (IBM), 1981. Gas Terminal at Kårstø. Marine environmental baseline and monitoring program. Research proposal October 15th, 1981. NIVA, rapport 0-80070, NHL, rapport 603053, 48 sider pluss 27 sider vedlegg.

Erga, S.R., 1981. Petrokjemianlegg på Kårstø. Prosjektstatus for primærproduksjonsprogrammet for perioden 1. januar 1981 til 7. mai 1981. NIVA, rapport 0-80070, 4 sider pluss 47 sider vedlegg.

Erga, S.R., 1981. Petrokjemianlegg på Kårstø. Prosjektstatus for primærproduksjonsprogrammet for perioden 7. mai 1981 til 10. juli 1981. NIVA, rapport 0-80070, 2 sider.

Haugen, I. og Nilsen, G., 1973. Undersøkelser av vann- og forurensningsproblemer ved kjernekraftverk. NIVA, juni 1973.

Haugen, I., 1974. Tiltak for å redusere negative følger ved bruk av kjølevann. Notat. NIVA, 22. januar 1974.

Haugen, I. og Källqvist, S.T., 1974. Waste heat and nutrient loaded effluents in aquaculture. NATO-workshop March 1974.

Haugen, I., 1974. Vann- og forurensningsproblemer ved kjernekraftverk. Problemer knyttet til blokkering av kjølevanninntak forårsaket av organismer i sjøen. NIVA, 28. mai 1974. 0-177/70.

Haugen, I., 1975. Evaluation and biological field surveys related to the siting of the first nuclear power plant. IAEA-SM-187/28 pp 751-760.

Haugen, I., 1978. Vann- og forurensningsproblemer ved varmekraftverk.

- En første vurdering av mulige byggesteder for varmekraftverk på kyststrekningen fra Telemark til Sør-Trøndelag. NIVA, 13. april 1978.
- Haugen, I., Steen, J.E. og Thendrup, A., 1979. Varmekraftverk i Oslofjordområdet. Vurdering av driftsproblemer knyttet til begroing og resirkulering. NIVA/VHL, februar 1979.
- Haugen, I., 1981. Potensial biological problems connected with cooling water intake. NIVA, 8th May 1981.
- Haugen, I.N., 1982. An analysis of marine fouling problems connected to intake of process water from a water filled shaft, specially related to the "3311 concept studies". NPC 1982.
- Haugen, I. og Kleppe, T., 1985. Ei kort vurdering av problemet marin begroing på offshore installasjonar, med vekt på aktuelle forskningsoppgaver. Teknisk Ukeblad.
- Haugen, I., 1987. Gasskraftverk i Nærøy, Nord-Trøndelag. Foreløpig vurdering av lokaliteten. NIVA, 9. mars 1987.
- Haugen, I. og Nilsen, J. Gasskraftverk på Kårstø. Foreløpig resipientvurdering. NIVA, 1. september 1986.
- Haugen, I., 1987. Gasskraftverk på Kårstø. Supplerende resipientvurdering. Oppsummering av erfaringer fra Sverige. 27. januar 1987.
- Haugen, I. et al. 1987. Gasskraftverk på Kårstø. Marinbiologiske undersøkelser ved Kårstø i tilknytning til kjølevannsutslipp fra gasskraftverk. Programforslag for 1987-1990. NIVA, 10. februar 1987.
- Haugen, I. et al., 1987. Gasskraftverk på Kårstø. Eksperimentelle undersøkelser. Effekter av kjølevann på marine gruntvannssamfunn. Programforslag 1987-1990. NIVA, 18. mars 1987.
- Haugen, I. et al., 1987. Gasskraftverk på Ognøy i Bokn kommune, Rogaland. NIVA, 20. mai 1987.
- Haugen, I., 1986. Gasskraftverk på Kårstø. Forslag til arbeidsprogram for 1986-87. NIVA, 11. september 1986.
- Erga, S.R., Sørensen, K., 1981. Petrokjemianlegg på Kårstø. Rapport fra studiereise til NIOZ-TEXEL i Nederland 24. - 28. august 1981. NIVA, rapport 0-80070, 4 sider.
- Erga, S.R., 1981. Petrokjemianlegg på Kårstø. Prosjektstatus for primærproduksjonsprogrammet for perioden 7. mai 1981 til 18. september 1981. NIVA, rapport 0-80070, 102 sider.

Haugen, I.N., Pedersen, A., 1981. Petrokjemianlegg på Kårstø. Vurdering av inntaks- og utslippsdyp for kjølevann. NIVA, rapport 0-80070, 17 sider.

Haugen, I.N., Bakke, T., Erga, S.R., Green, N., Kvalvågnæs, K., Pedersen, A., Sørensen, K., 1982. Petrokjemianlegg på Kårstø. Foreløpig oppsummering fra fase I (1981). NIVA, rapport 0-80070, 12 sider.

Bakke, T., 1984. Programforslag. Biologiske undersøkelser av den marine resipient rundt Kårstø 1985-1986. NIVA-rapport 0-84072. 10 s.

Bakke, T., Green, N.W., Haugen, I., Kvalvågnæs, K. & Pedersen, A., 1984. Petrokjemianlegg på Kårstø. Fastsittende alger og dyr. Undersøkelser 1981-1983. NIVA-rapport 0-82138. 166 s.

Bokn, T., 1974. Vurdering av Karmøy-området som resipient for kjølevann fra varmekraftverk. Rapport 1. Tidligere undersøkelser i området. NIVA-rapport 0-134/73. 14 s. + appendiks.

Erga, S.R. & Sørensen, K., 1982. Petrokjemianlegg på Kårstø. Bind 1. Primærproduksjon februar-novemberr 1981. Planteplanktonets biomasse og produksjon sett i relasjon til beitepress, hydrografi, lys og næringssalter. NIVA-rapport 0-8007002. 284 s.

Erga, S.R. & Sørensen, K., 1982. Petrokjemianlegg på Kårstø. Bind 2. Primærproduksjon februar-november 1981. Planteplanktonets biomasse og produksjon sett i relasjon til beitepress, hydrografi, lys og næringssalter. NIVA-rapport 0-8007002. 284 s.

Haugen, I., 1974. Vurdering av Karmøy-området som resipient for kjølevann fra varmekraftverk. Rapport 2. Foreslåtte byggesteder. NIVA-rapport 0-177/70, 0-134/73. 13 s.

Haugen, I., 1975. Vurdering av Karmøy-området som resipient for kjølevann fra varmekraftverk. Rapport 3. Byggestedene Kårstø og Ytraland. NIVA-rapport 0-22/75. 8 s.

Haugen, I., 1980. Petrokjemianlegg på Kårstø. Programforslag. NIVA-rapport 0-80070. 16 s. + vedlegg.

Haugen, I., Bakke, T. & Molvær, J., 1980. Petrokjemianlegg på Kårstø. Revidert programforslag for fase I. NIVA-rapport 0-80070. 8 s.

Haugen, I., 1981. Petrokjemianlegg på Kårstø. Primærproduksjonsprogram. NIVA-rapport 0-80070. 10 s.

NIVA, 1973. Undersøkelser av vann og forurensningsproblemer ved

- kjernekraftverk. Resultater fra Oslofjordområdet for perioden 1971-1972. Norsk institutt for vannforskning, Blindern.
- NIVA, 1974. 0-177/70. Referat fra reise til USA for å besøke institusjoner som arbeider med biologiske problemer i forbindelse med kjernekraftverk. Blindern, 5. juni 1974. I. Haugen, G. Nilsen.
- Haugen, I., 1974. Guidelines for recipient evaluation and biological surveys in connection with the siting of the first nuclear power plant in Norway. IAEA SM - 187/28, 1974.
- NIVA/VHL, 1973. Kjernekraftverk i Oslofjordområdet, Byggestedsområdene Brenntangen, Vardeåsen og Hurum. Resipientvurderinger. Trondheim/Oslo, 25. januar 1973. Fellesrapport NIVA/VHL.
- NIVA, 1974 a. Undersøkelser av vann- og forurensningsproblemer ved kjernekraftverk. Resultater fra Oslofjordområdet for perioden 1973-1974. 0-177/70. Blindern, desember 1974.
- NIVA, 1974 b. Foreløpig karakteristikk av Naverfjordområdet som resipient for kjølevann fra et kjernekraftverk. 0-109/73. Blindern, 29. februar 1974.
- NIVA, 1974 c. Langangsfjorden som resipient for kjølevann fra et kjernekraftverk. P-184/73. Blindern, 28. februar 1974.
- NIVA, 1974 d. Vann- og forurensningsproblemer ved kjernekraftverk. Problemer knyttet til blokkering av kjølevannsinntaket forårsaket av organismer i sjøen. 0-177/70. Blindern, 28. mai 1974.
- Haugen, I., 1987. Gasskraftverk på Kårstø. Supplerende resipientvurdering. Oppsummering av erfaringer fra Sverige. NIVA 0-86159. 27. januar 1987. 6 s.