

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
Blindern, Oslo

VASSDRAGS- OG HAVNELABORATORIET
ved Norges tekniske høgskole
Trondheim

KJERNEKRAFTVERK I OSLOFJORDOMRÅDET
Byggestedsområdene Brenntangen,
Vardeåsen og Hurum.

Resipientvurderinger.
Januar 1973.

Utført av:

T. AUDUNSON, VHL

F.E. DAHL, VHL

J. LAND, VHL

I. HAUGEN, NIVA

G. NILSEN, NIVA

O. SKULBERG, NIVA

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

	Side
INNHOLDSFORTEGNELSE	I
FIGURFORTEGNELSE	III
TABELLFORTEGNELSE	VI
FORORD	VII
1. INNLEDNING	1
2. OVERSIKT OVER UTFØRTE UNDERSØKELSER	3
3. KORT OVERSIKT OVER OSLOFJORDENS NATURFORHOLD	9
3.1. Topografi	9
3.2. Hydrografi	11
3.3. Biologi	14
4. GENERELT OM DE HYDROFYSISKE VURDERINGENE	18
4.1. Definisjoner og forutsetninger	18
4.2. Analysemetode for utslippets forløp i nærsonen	20
4.3. Analysemetode for utslippets temperaturforløp i fjernsonen	21
4.4. Behandling av hydrofysiske data	22
5. VIRKNINGER PÅ BIOLOGISKE FORHOLD	23
5.1. Organismens evne til å tilpasse seg forskjellige temperaturforhold	23
5.2. Temperaturen virkning på artenes utbredelse	26
5.3. Temperaturen som utløsende faktor for forplantning	28
5.4. Primærproduksjonens temperaturavhengighet	29
5.5. Temperaturen innflytelse på visse miljøfaktorer og på samspill mellom miljøfaktorer	31
5.6. Virkning på organismer som transporteres gjennom kjølevannsystemet	32
5.7. Om foreliggende erfaring fra varmtvannsutslipp	33
5.8. Utslipp av radioaktive stoffer i sjøen	33

FIGURFORTEGNELSE

	Side
Figur 1. Kart over Oslofjorden	10
Figur 2. Vertikalfordeling av tetthet ved Bastø	13
Figur 3. Sammenlikning mellom endring i varmeinnholdet i Vestfjorden og varmetilførselen fra atmosfæren	13
Figur 4. Forsøk med dykket stråle i lagdelt vann	20
Figur 5. Aktivitet til rurararters cirrer (rankeføtter) ved ulike temperaturer	24
Figur 6. Oksygen-forbruk for voksne sjøpiggsvin, <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> , tilpasset henholdsvis 5°C og 14-19°C og testet ved de indikerte temperaturene.	25
Figur 7. Temperaturpolygon som viser målte og hypotetiske temperaturtoleranser for en lakseart ("Sockeye salmon") tilpasset ulike temperaturnivåer	27
Figur 8. Fotosyntese, respirasjon og nettoproduksjon av oksygen ved ulike temperaturer i råkultur av planktonalger fra Østersjøen	31
Figur 9. Midlere tetthet σ_t i 1 m i Drøbaksundet for juni/juli 1972	38

- Figur 21. Den nitrogenelskende grønnalgen *Ulva lactuca* fra stasjon 10 i Brenntangenområdet. Dyp: 0,5-1 m 64
- Figur 22. Typisk lokalitet i Larkollenområdet med bunnen dekket av grå detritus. I sentrum en solstjerne, *Crossaster papposus*. Dyp: 3 m " 64
- Figur 23. Situasjonsbilde fra stasjon 9 i Brenntangenområdet, med slangestjernen *Ophiura albida*, sjøstjerne *Asterias rubens* og døde kråke- boller. Dyp:7 m 65
- Figur 24. Situasjonsbilde fra stasjon 3 i Hurumområdet med slangestjernen *Ophiura albida* og døde muslinger. Dyp:13 m 65
- Figur 25. Situasjonsbilde fra den forurensede Sonsbukta, stasjon 11. Dyp: 3 m 66
- Figur 26. Eksempel på sammensetning av dyreplankton- samfunn 67
- Figur 27. Middelveier av celleutbytte ved vekstforsøk i perioden juni-september 1972: Testalge: *Phaeodactylum tricornutum*. 69
- Figur 28. Vekst av kiselalgen *Skeletonema costatum* ved 20°C, 10°C og 3°C 74
- Figur 29. Resultat av vekstforsøk med *Phaeodactylum tricornutum* ved ulike fosformengder og ulike temperaturer (10°C og 20°C) 75
- Figur 30. Organismesamfunn utviklet under eksperimenterelle betingelser med ulike sjøvannstemperaturer 77

T A B E L L F O R T E G N E L S E

	Side
Tabell 1. Gjentakelsesintervall (G_m) i år og TSK-verdier for temperaturer høyere enn 9°C ved utslipp på $200 \text{ m}^3/\text{s}$ fra kjernekraftverk ved Brenntangen	51
Tabell 2. Gjentakelsesintervall (G_m) i år og TSK-verdier for temperaturer høyere enn $8,5^{\circ}\text{C}$ ved utslipp på $200 \text{ m}^3/\text{s}$ fra kjernekraftverk ved Brenntangen	51
Tabell 3. Celleutbytte ved vekstforsøk. Testalge: <i>Phaeodactylum tricornutum</i>	68
Tabell 4. Begrensende næringsstoffer	70
Tabell 5. Begroing ved renneforsøk	76

FORORD

Denne rapport er en sammenstilling av biologiske og hydrofysiske vurderinger av tre byggestedsområder for kjernekraftverk i Oslofjordområdet som er utført etter oppdrag fra Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen/ Direktoratet for statskraftverkene. De biologiske vurderinger er utført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Oslo, mens de hydrofysiske vurderinger er utført av Vassdrags- og havnelaboratoriet ved Norges tekniske høgskole (VHL), Trondheim. Som det fremgår av kapittel to, har en rekke forskere ved de to institusjoner vært engasjert i arbeidet.

Sammenfatningene i den foreliggende rapport bygger på undersøkelser som er beskrevet i VHL-rapport "Kjernekraftverk i Oslofjordområdet" nr. 9, og NIVA-rapport av 1.1.1973 "Undersøkelser av vann og forurensningsproblemer ved kjernekraftverk".

Et faglig råd for de biologiske undersøkelser ble etter vedtak opprettet 1. november 1971. I rådet er følgende institusjoner representert: Institutt for marin biologi, Universitetet i Oslo; Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt, Bergen; Direktoratet for jakt, viltstell og ferskvannsfiske, Vollebekk og Institutt for atomenergi, Kjeller. Det faglige råd har drøftet fremføringen av arbeidet med de biologiske vurderinger.

Undersøkelsesopplegg og resultater for den hydrofysiske delen er blitt drøftet med forskere ved andre institusjoner som det har vært naturlig å samarbeide med.

Rapporten er inndelt i tretten kapitler. De fem første gir generell informasjon om biologiske og hydrofysiske forhold i Oslofjorden, og om resipientvurderingenes opplegg, gjennom-

føring og terminologi. I de syv etterfølgende kapitler presenteres et sammendrag av undersøkelsesresultatene for de tre byggestedsområdene. Konklusjonene er gitt i kapittel tretten.

En oversikt over resipientvurderingenes hovedinnhold kan fås ved å gjennomgå sammenfatnings- og konklusjonskapitlene i sammenheng med de fem første kapitlene.

Vassdrags- og havenlaboratoriet
ved Norges tekniske høgskole

Trondheim

Norsk institutt for
vannforskning

Blindern, Oslo

25. januar 1973

1. INNLEDNING.

Etter oppdrag fra Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen/ Direktoratet for statskraftverkene (NVE/S), har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) og Vassdrags- og havnelaboratoriet (VHL) ved Norges tekniske høgskole utført biologiske og hydrofysiske undersøkelser med hensyn på kjølevannsutslipp fra eventuelle fremtidige kjernekraftverk i Oslofjordområdet.

Etter at et stort antall byggestedsområder var behandlet av forskjellige faggrupper, valgte NVE/S etter en helhetsvurdering ut to byggestedsområder til videre undersøkelser. Resipientvurderingene, som helhetsvurderingen bl.a. bygger på, er gitt i rapport utarbeidet av NIVA og VHL: "Redegjørelse om resipientforholdene basert på biologiske og fysiske forhold ved alternative anleggssteder for kjernekraftverk". De to områdene som ble valgt ut til videre vurderinger, var:

- i) Brenntangen/Mørk
- ii) Vardeåsen

Senere, i møte 14.6 1972, anmodet NVE/S om at også et byggestedsområde i Hurum ble tatt opp til videre vurdering. De tre byggestedsområdene er vist i figur 1. Den foreliggende rapport er en sammenstilling av biologiske (NIVA) og hydrofysiske (VHL) vurderinger for disse byggestedene.

Som grunnlag for de hydrofysiske vurderingene har en, ved siden av litteraturstudier og studiereiser, benyttet tidligere utførte undersøkelser i de enkelte byggestedsområdene samt hydrofysiske målinger og beregninger foretatt sommeren og høsten 1972.

Som grunnlag for de biologiske vurderingene har en ved literaturstudier og studiereiser i stor utstrekning søkt støtte i de erfaringer som foreligger fra utlandet. Grunnet ulike klimatiske, biologiske og hydrofysiske forhold kan en imidlertid ikke anvende slike erfaringer og resultater direkte på forholdene i Oslofjorden. Viktig for de biologiske vurderinger har vært de hydrofysiske vurderinger foretatt av VHL, samt kunnskap om Oslofjordens forurensningssituasjon og biologiske forhold. I samråd med NVE/S er eventuelle strålingseffekter fra radioaktivt utslipp til sjøen bare summarisk behandlet.

Enkelte generelle biologiske og hydrofysiske problemer forbundet med kjølevannsutslipp har en forsøkt å belyse med eksperimenter og laboratorieforsøk.

For å kunne gjennomføre resipientvurderingene har en måttet innføre visse antagelser og forenklinger. Resultatene som foreligger må derfor sees i lys av forutsetningen de har fremkommet under.

2. OVERSIKT OVER UTFØRTE UNDERSØKELSER.

Ved de byggestedsalternativer hvor en tidlig i undersøkelsene ikke kunne danne seg et umiddelbart bilde av resipientforholdene, og senere ved de 3 byggestedsalternativer som NVE/S valgte ut til videre vurdering, har en utført hydrofysiske og biologiske undersøkelser av varierende omfang. Alle undersøkelser er utført etter anmodning fra eller i samråd med NVE/S. De enkelte hydrofysiske undersøkelser er behandlet i VHL-rapporter under fellesbetegnelsen "Kjernekraftverk i Oslo-fjordområdet". Ved henvisning til rapportene er betegnelsen KIO NR. benyttet. De biologiske undersøkelsene behandles i NIVA-rapporter under hovedtittel: "Undersøkelser av vann- og forurensningsproblemer ved kjernekraftverk".

Formålet med undersøkelsene har vært å beregne og beskrive:

1. De hydrofysiske forhold i resipienten (strøm, temperatur og tetthetssjiktning).
2. Hvordan et kjølevannsutslipp vil blandes og spres i resipienten, samt mulige hydrofysiske påvirkninger på resipienten som følge av kjølevannsutslipp.
3. De biologiske forhold og ressurser i resipienten.
4. Hvordan de biologiske forholdene kan bli influert av utslipp fra kjernekraftverk.

Nedenfor har en gitt en kort oversikt over de enkelte undersøkelser, samt vist til hvor de er beskrevet.

1. I fjordområdene i nedre Telemark ble det fra juni 1970 til november 1971 foretatt strøm-, temperatur-

og saltholdighetsmålinger. Utførte beregninger er gjengitt i KIO NR. 5.

2. Fra april 1970 til september 1971 ble det utført strøm-, temperatur- og saltholdighetsmålinger i området utenfor Sonsåsen. Målingene er beskrevet i KIO NR. 1 og 2.
3. Siden mars 1971 er det blitt utført forskjellige undersøkelser i området ved Brenntangen.
 - a. Strømmålinger er blitt foretatt i Drøbaksundet utenfor Brenntangen siden mars 1971. Hensikten med disse var å fastslå om det er noen dominerende strømretning i vannmassene. Målingene er beskrevet i KIO NR. 2, 7 og 9.
 - b. Sommeren 1971 ble det utført sporstoffmålinger utenfor Brenntangen som skulle gi grunnlag for beregning av det lokale turbulens- og diffusjonsnivå, og dermed fortynning av et eventuelt kjølevannsutslipp. Målingene er beskrevet i KIO NR. 6.
 - c. For å beregne hvilke virkninger et kjølevannsutslipp ved Brenntangen vil ha på vannmassene i indre Oslofjord, ble det sommeren 1972 foretatt omfattende hydrofysiske målinger (strøm, temperatur og saltholdighet) i Drøbaksundet mellom Brenntangen og Drøbak, og i indre Oslofjord. Målinger og beregninger er beskrevet i KIO NR. 7 og 8.
4. I november 1971 ble det foretatt hydrografiske målinger i ytre Oslofjord mellom Slagentangen og Lar-kollen (Vardeåsen). Målingene er beskrevet i KIO NR. 4.

5. Siden november 1971 er det foretatt strømmålinger utenfor Larkollen. Se KIO NR. 7.
6. Siden juni 1972 har en foretatt strømmålinger i Brei-
angen syd for Hurum (Haraldstangen). Videre foretok
en sommeren 1972 strøm-, temperatur- og saltholdighets-
målinger i Breiangen. Målingene er beskrevet i KIO
Nr. 7.
7. I juli og august 1972 har en foretatt biologiske
undersøkelser i områdene Brenntangen, Hurum og Varde-
åsen. Resultatene er beskrevet i NIVA-rapport av
1.1.1973.
8. I 1972 er det utført en innledende undersøkelse over
fjordens eutrofigrad. Resultatene beskrives i NIVA-
rapport av 1.1. 1973.
9. Siden 1971 er det ved Universitetet i Oslo utført
undersøkelser over temperaturens innflytelse på vekst
av planteplankton fra Drøbaksundet. Undersøkelsen er
en hovedfagsoppgave ved Institutt for marinbiologi
og limnologi. Den pågår fremdeles. Foreløpige re-
sultater beskrives i NIVA-rapport av 1.1.1973.
10. I 1972 er det utført innledende eksperimentelle under-
søkelser over temperaturens betydning for vekst av
planktonalger. Resultatene beskrives i NIVA-rapport
av 1.1.1973.
11. Det er utført en innledende undersøkelse over tempera-
turens innvirkning på vekst av planteplankton i rela-
sjon til konsentrasjonen av næringssalter (fosfor).
Resultatene beskrives i NIVA-rapport av 1.1.1973.

12. Høsten 1972 er det utført innledende forsøk med utvikling av fastsittende organismsamfunn under eksperimentelle betingelser. NIVA-rapport av 1.1.1973.
13. Det er foretatt studiereiser til Sverige og Storbritannia for å nyttiggjøre foreliggende erfaringer. NIVA-rapporter av 19.3.1971, 3.11.1971 og 26.10.1972.

Arbeidet i 1972 er ført videre med bakgrunn i tidligere utredninger og undersøkelser. Følgende rapporter gir informasjon om utførte undersøkelser og sammenheng i arbeidet:

- KIO NR. 1: SÆTRE, H.J. Hydrofysiske målinger ved Son. April 1970 - januar 1971. Del 1 - 4. VHL, Trondheim, den 11. juni 1971.
- KIO NR. 2: SÆTRE, H.J. Hydrofysiske målinger ved Brenntangen og Son. Mars - september 1971. Del 1 og 2. VHL, Trondheim, den 22. desember 1971.
- KIO NR. 3: DAHL, F.-E. & SÆTRE, H.J. Redegjørelse om resipientforholdene ved alternative anleggssteder for kjernekraftverk. NIVA, VHL, Oslo/Trondheim, den 15. oktober 1971.
- KIO NR. 4: DAHL, F.-E. & SÆTRE, H.J. En hydrografisk undersøkelse i et snitt over Oslofjorden, Slagen-tangen - Larkollen 9.11 - 12.11 1971. NIVA/VHL, Oslo/Trondheim, den 16. desember 1971.
- KIO NR. 5: KJELDTSEN, P., MOSHAGEN, H. & TESAKER, E. En utredning av kjølevannets spredning i alternative resipienter. VHL, Trondheim, den 6. januar 1972.

- KIO NR. 6: LAND, J. & Sporstofforsøk ved Brenntangen.
TESAKER, E. VHL, Trondheim, den 6. januar 1972.
- KIO NR. 7: AUDUNSON, T., Hydrofysiske undersøkelser i Oslo-
DAHL, F.-E. & fjordområdet, VHL, Trondheim 1973.
JACOBSON, P.
- KIO NR. 8: AUDUNSON, T., En vurdering av avløpsvarmens
DAHL, F.-E. & virkning på temperaturforholdene
LAND, J. for byggestedsalternativene Brenn-
tangen, Hurum og Vardeåsen, VHL,
Trondheim, 1973.
- KIO NR. 9: AUDUNSON, T., Sammendrag av hydrofysiske resipi-
DAHL, F.-E., entvurderinger ved byggesteds-
JACOBSON, P. & alternativene Brenntangen, Hurum
LAND, J. og Vardeåsen. VHL, Trondheim,
den 18. desember 1972.
- RUENESS, J. Notat om undersøkelse av vann- og
forurensningsproblemer ved atom-
kraftverk, NIVA, Blindern, den 10.
mars 1971.
- RUENESS, J. & Referat fra besøk i Sverige den 18.-
DAHL, E. 19.3.1971. NIVA, Blindern den 19.
mars 1971.
- DAHL, F.-E., Notat: Undersøkelse av vann- og
KRISTIANSEN, H., forurensningsproblemer ved kjerne-
LISETH, P., kraftverk. NIVA, Blindern, juli
RUENESS, J. & 1971.
SKULBERG, O.
- DAHL, F.-E. To hydrografiske snitt i Oslofjor-
den. Notat. NIVA, Blindern, den
25. januar 1972.

- DAHL, E. Referat fra besøk i Uppsala 26. - 29.10.1971. Blindern, den 3. november 1971.
- RUENESS, J. & SKULBERG, O. Biologiske momenter av betydning ved valg av lokaliteter for kjernekraftverk. Generelle vurderinger for en grovprioritering av byggesteder. NIVA, Blindern, den 7. februar 1972.
- HAUGEN, I. & SKULBERG, O. Fremdriftsrapport om eksperimentelle biologiske undersøkelser. Blindern, den 21. mai 1972.
- HAUGEN, I. & NILSEN, G. Rapport fra reise til Storbritannia 22/9 - 2/10 1972. NIVA, Blindern den 26. oktober 1972.
- HAUGEN, I., NILSEN, G. & SKULBERG, O. Undersøkelser av vann- og forureningsproblemer ved kjernekraftverk. Teoretiske, feltbiologiske og eksperimentelle undersøkelser 1972. NIVA, Blindern, den 1. januar 1973.
- DAHL, F.-E., MOSHAGEN, H., RUENESS, J., SKULBERG, O. & SÆTRE, H.J. Redegjørelse om resipientforholdene basert på biologiske og fysiske forhold ved alternative anleggssteder for kjernekraftverk. NIVA/VHL, Oslo/Trondheim, den 17. februar 1972.

3. KORT OVERSIKT OVER OSLOFJORDENS NATURFORHOLD

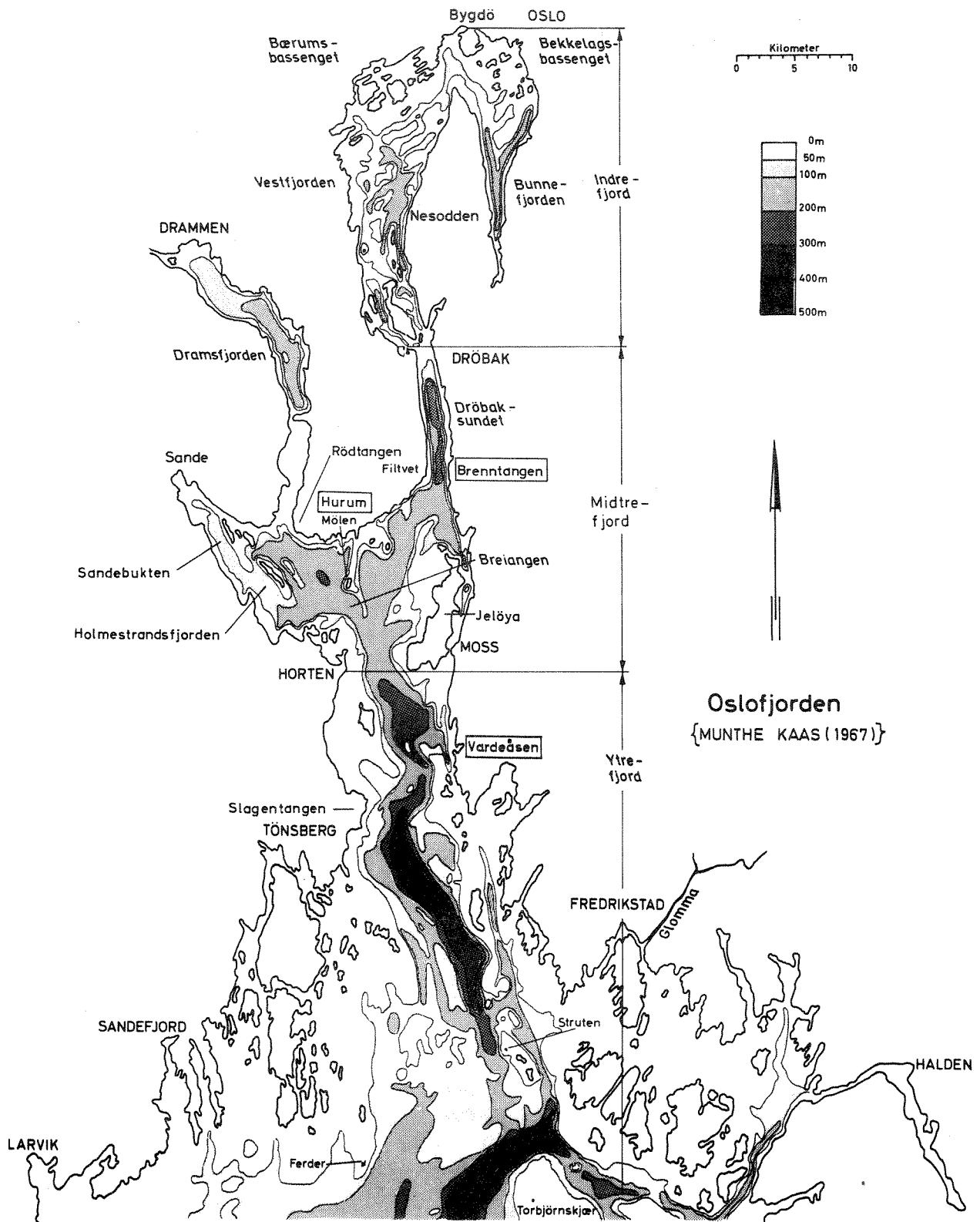
3.1. Topografi.

Figur 1 er et oversiktskart over Oslofjordområdet. Fra Ferder i syd, hvor Oslofjorden grenser til Skagerrak, og til Oslo i nord er fjorden ca. 100 km lang.

Fjorden består av mange større og mindre bassenger og fjordarmer. Etter topografien deler en gjerne fjorden inn i tre hovedområder:

- i) YTRE FJORD er det åpne området som strekker seg fra Ferder til den markante innsnevring mellom Jeløya og Horten. Dette området består av et sammenhengende basseng, som i syd begrenses av en rygg som strekker seg fra Struten og vestover. Største dyp i bassenget, ca. 370 m, finnes ca. 13 km nord for denne ryggen. Terskeldypet på Strutenryggen er ca. 85 m. Fordi dette er den grunneste terskel mellom ytre Oslofjord og Skagerrak, virker den i avgjørende grad inn på de hydrofysiske forhold i bassengene innenfor. Lengden av ytre fjord er ca. 46 km, og bredden varierer mellom 8 km og 20 km. Langs land på begge sider er det store grunntvannsområder.

- ii) MIDTRE FJORD er fjordområdet mellom Horten i syd og terskelen ved Drøbak i nord. Lengden er ca. 27 km, bredden varierer mellom 2 km og 20 km. Til midtre fjord regner en også de ytre deler av Drammensfjorden. Mellom Jeløya-Horten og Hurumlandet er det et stort, åpent område som kalles Breiangen. Dybden i den østre delen er ca. 130 m, mens dybden i den vestre delen er ca. 200 m. En undersjøisk rygg mellom Hurumlandet og øya Mølen virker som et skille mellom de to delene.



Figur 1 Kart over Oslofjorden

Dybdene på ryggen er for det meste mindre enn 10 - 20 m. Vest for Breiangen ligger Holmestrandsfjorden og Sandebukten. I nord, mellom Filtvet og Drøbak, ligger Drøbaksundet. Lengden er ca. 12 km, og bredden varierer fra 2 - 2,5 km. Sundet er kanalformet med en dyprenne ca. 200 m dyp.

- iii) INDRE FJORD er fjordområdet innenfor Drøbakerskelen, hvor største terskeldyp er 19,5 m. Lengden fra Drøbak til Oslo er ca. 27 km, og bredden varierer i den vestre del (Vestfjorden) mellom 3 og 8 km. Indre Oslofjord er delt i to hovedbassenger, Vestfjorden og Bunnefjorden, som er adskilt med en 50 m dyp terskel mellom Nesodlandet og Bygdø. Vestfjorden består av en rekke bassenger, som er skilt med undersjøiske rygger. Største dyp, 160 m, finnes i en dyprenne i den sydlige del. I den vestre del av Vestfjorden er det store gruntvannsområder. Bunnefjorden har et dypbasseng med et største dyp på ca. 160 m. I nord er det relativt store grunne områder.

3.2. Hydrografi

De hydrografiske forholdene i Oslofjorden er et resultat av:

- i) Ferskvannstilførsel
- ii) Tilførsel av vann med høy saltholdighet fra Skagerrak.
- iii) Blanding av disse vanntyper
- iv) Meteorologiske forhold

To store elver, Drammenselven og Glomma, renner ut i Oslofjordområdet. Disse er regulert til henholdsvis 200 m³/s og 500 m³/s. I tillegg renner det ut flere andre mindre elver. Under flomperioder, og særlig om våren, kan vannføringen øke

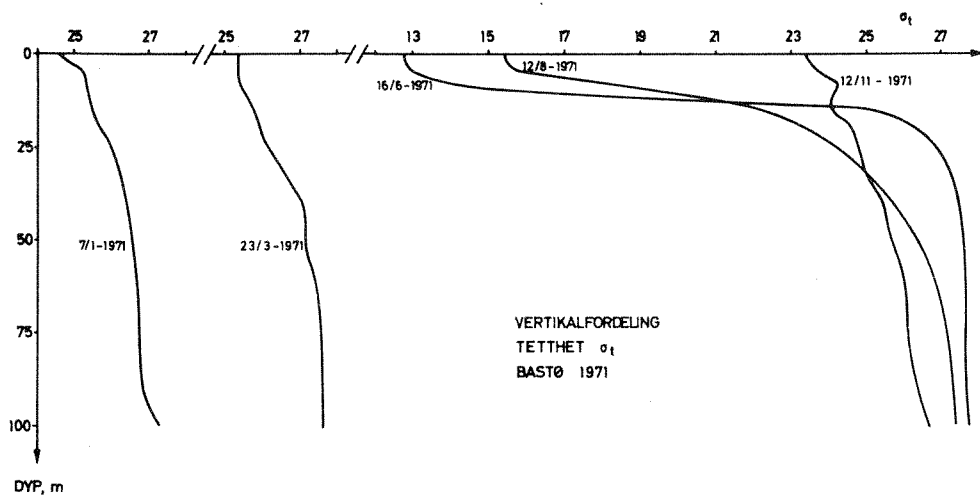
betydelig. Ferskvannet fra elvene legger seg i overflaten og blandes ved forskjellige prosesser med saltvannet som ligger under. Energi til disse blandingsprosesser tilføres med vind, bølger, tidevann eller ved hastighetsforskjell mellom ferskvannet og saltvannet.

Saltvann tilføres fjordområdene ved innstrømming fra Skagerrak. Tettheten (egenvekten) av det innstrømmende saltvannet varierer med innstrømningsdyp og årstid. Tettheten i sjøvannet avhenger av dets temperatur og saltholdighet. Saltholdigheten er den dominerende faktor. Da tettheten øker med dypet, vil tersklene, som er nevnt i punktet foran, være avgjørende for hvor tungt vann som kan strømme inn under en gitt situasjon. Fra dypere vannlag i et basseng transporteres salt mot overflaten ved vertikale blandingsprosesser og vertikal konveksjon. Tettheten i dypvannsmassene blir dermed redusert. Denne tetthetsreduksjonen fortsetter inntil en dypvannsutskiftning finner sted. Med dypvannsutskiftning menes utskiftning av vann vesentlig under terskelnivå. Omfanget av dypvannsutskiftningene i bassengene i Oslofjorden varierer fra år til år.

Tettheten i overflatelaget er avhengig av ferskvannstilførselen og av hvor sterk blandingen med underliggende sjøvann er. Sterk vind kan medføre at et relativt tykt lag homogeniseres, det vil si at den vertikale tetthetsgradienten blir liten. I ytre Oslofjord har en observert tilnærmet homogene overflate-lag nærmere 40 m dype.

Siden ferskvannstilførselen varierer med årstidene, vil tettheten i det brakke overflatelaget variere. Generelt vil tetthetsgradienten i brakkvannslaget være størst om sommeren for så å svekkes utover høsten og vinteren. Om vinteren kan det inntreffe situasjoner med meget liten lagdeling (tetthetsgradient) i overflatelaget.

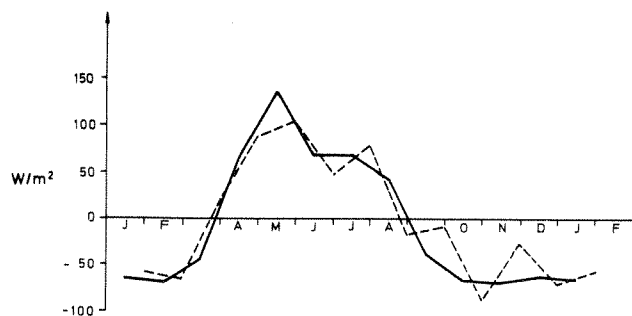
Typiske lagdelingsforhold for ytre Oslofjord er vist i figur 2.



Figur 2. Vertikalfordeling av tetthet ved Bastø

Abscissen i figuren er en tetthetsparameter σ_t som kan uttrykkes som $\sigma_t = (\rho - 1) \cdot 10^3$, hvor ρ er vannets relative tetthet. Figuren viser hvorledes den sterke lagdelingen i sommerhalvåret gradvis svekkes utover høsten og vinteren.

Varmeinnholdet i vannmassene er hovedsakelig dominert av varmeutveksling med atmosfæren gjennom overflaten. Horisontale og vertikale blandingsprosesser styrer temperaturfordelingen i vannmassene. Figur 3 viser endringen i varmeinnholdet i vann-



Figur 3. Sammenlikning mellom endringer i varmeinnholdet i Vestfjorden normalisert med overflatearealet (---) og netto varmeutveksling med atmosfæren (—).

massene i indre Oslofjord sammenlignet med beregnet netto varmeutveksling med atmosfæren ved stråling, konveksjon og fordampning. Figuren viser at vannmassene avgir varme til atmosfæren i tidsrommet september-mars, og at de mottar varme i tidsrommet april-august.

Temperaturvariasjonene gjennom året er størst i overflate- laget. I Oslofjorden kan temperaturen i overflaten variere fra $+20^{\circ}\text{C}$ eller mer om sommeren til $-1,3^{\circ}\text{C}$ om vinteren. Variasjonene avtar raskt nedover i dypet, samtidig som de forsinkes på grunn av den tid varmen trenger til å forplante seg nedover. Typiske temperaturer i dyplagene ligger mellom 5°C og 8°C . Om vinteren er temperaturen i overflatelaget lavere enn i dypet på grunn av avkjøling i overflaten. Varme transporteres dermed fra dypere lag mot overflaten.

I dypvannsmassene er ofte temperaturforskjellen mellom "gammelt" og "nytt" dypvann ved dypvannsutsiftninger større enn temperaturendringene som skyldes varmetransport fra eller mot overflaten.

3.3 Biologi

Oslofjorden er et område som er relativt godt undersøkt i biologisk sammenheng. Forskningsinstitusjoner ved Universitetet i Oslo har hatt fjorden som undersøkelsesområde gjennom lang tid. BEYER (1968) behandler en rekke undersøkelser i fjorden fra midt i forrige århundre og opp til våre dager. Oversikt over undersøkelser av benthosalgevegetasjonen finnes hos KLAVESTAD (1967). Spesielt grundig ble vegetasjonen undersøkt av SUNDENE (1953). Det er utført flere planteplanktonundersøkelser i fjorden gjennom hele dette hundreåret. Referanser finnes hos BRAARUD & NYGAARD (1967).

En undersøkelse av Oslofjordens forurensningssituasjon ble utført i årene 1962 - 1965. Resultatene foreligger i serien "Oslofjorden og den forurensningsproblemer"; 18 rapporter og to samler rapporter NIVA (1968) og NIVA (1970).

Det følgende gir en kortfattet sammenstilling av biologiske forhold i Oslofjorden.

Biogeografisk kan Oslofjorden plasseres i den såkalte boreale sone {EKMAN (1935)}. Denne sonen er karakterisert av store temperaturforskjeller i overflaten gjennom året. De organismene som lever her, må derfor være tilpasset store temperaturvariasjoner i motsetning til overflateorganismer i tropiske og arktiske strøk der temperaturen er mer stabil høy, henholdsvis lav. I alle sonene gjelder det at variasjonen i temperaturen blir mindre med dypet. De dypeste delene av Oslofjorden har temperaturforhold rundt 5-8°C. (Se figur 13.) Denne temperaturen er slik at både enkelte kaldtvanns- og enkelte varmtvannsarter kan finne levelige forhold {EKMAN (1935)}. Høyere i vannet er temperaturforløpet slik at varmtvannsarter kan forplante seg i sommerhalvåret, mens kaldtvannsarter kan forplante seg i vinterhalvåret. Arter som utenom forplantningssesongen tåler vekslende temperaturer, kan på denne måten opprettholde bestander i området. I Oslofjorden kan vi som ellers i den boreale sonen, altså finne både kaldtvanns- og varmtvannsarter og boreale arter.

Et annet karakteristisk trekk ved Oslofjordens ytre forhold er brakkvannet som preger overflatevannet i sommerhalvåret. Ifølge REMANE (1958) og flere, er brakkvannsområdene kjennetegnet av en sterk reduksjon i artsantallet. Dette vil si at flere arter i Oslofjorden lever under et ytre press fra den nedsatte saltholdigheten, noe som har ført til at enkelte arter som vanligvis lever i overflaten, i Oslofjorden lever på større dyp (submergens).

I dypet av fjorden er forholdene slik at man vil finne arter som er avhengig av høye og stabile saltholdigheter (stenohaline marine arter).

Bunntypene preger de biologiske forhold. Stor tilførsel av partikler, stor organisk produksjon og svake vannbevegelser fører til sedimentering og dannelse av bløtbunnsområder. I Oslofjorden finner man derfor bløtbunnsarter på grunnere vann enn i åpne kystområder (emergens). Bare i strandsonen og på bratte eller strømhårde steder er det muligheter for hardbunnsarter.

Arter som krever sterk eksponering og værharde steder, vil ikke finne gode forhold i Oslofjorden. Av denne grunn mangler enkelte av de artene som i våre mer åpne farvann kan være karakteristiske for strandsonen. Arter som tåler lite av bølgeslag, får imidlertid muligheten til å opprette bestander inne i den beskyttende fjorden. Den utpregede sone-
ring man kan finne i strandflora og -fauna på kysten forøvrig (for eksempel på Vestlandet og i Nord Norge), er lite fremtredende i Oslofjorden blant annet på grunn av liten bølgebevegelse og små tidevannsforskjeller.

Som ellers på høye breddegrader, er det om vinteren lite lys til planteproduksjon i området. Lysmengden øker utover våren, og vi får en kraftig oppblomstring av planteplankton. Grunnet rikelig tilgang på plantenæringsstoffer er planteveksten særlig stor i Oslofjorden. Overflatevannet er derfor til tider farget og lite gjennomskinnelig. De fastsittende algene går derfor ikke så dypt i Oslofjorden som i mer åpne kystfarvann.

Karakteristisk for Oslofjordområdet er den sterke forurensning fra de befolkede områdene rundt fjorden {NIVA (1968)}. Forurensningspåvirkningen er størst ved Oslo og avtar utover. I store trekk fører forurensningen til at en rekke arter forsvinner innover mot Oslo {BEYER (1968)}. Forurensningstolerante og næringselskende arter overtar og kan oppnå en betydelig bestandtetthet.

Produksjonen i indre Oslofjord er meget høy. Det organiske materialet som dannes i overflaten, nedbrytes under tilgang på oksygen. I dypet er imidlertid tilgangen på oksygen begrenset. Alt organisk materiale kan derfor ikke brytes ned bare ved hjelp av molekylært oksygen og forråtnelsesprosesser overtar. Dette har medført tilfeller med giftstoffet hydrogensulfid i bunnvann og sedimenter både i Vestfjorden og Bunnefjorden. Indre fjords dypeste områder er preget av disse forholdene.

4. GENERELT OM DE HYDROFYSISKE VURDERINGENE.

4.1 Definisjoner og forutsetninger.

Ved de hydrofysiske vurderinger av byggestedsområdene har en inndelt resipienten i

- (i) nærsone
- (ii) fjernsone

Nærsonen er det området hvor utslippets bevegelsesmengde og turbulens dominerer transport og fortykning, mens fjernsonen er det området hvor resipientens egne fortyknings- og transportmekanismer dominerer. I fjernsonen vil dessuten de meteorologiske forhold virke inn på utslippets temperaturforløp. Ytre forhold av særlig betydning i nærsonen, er resipientens strøm- og lagdelingsforhold. Strømmen er særlig viktig på grunn av dens avbøyende effekt, mens lagdelingen er særlig viktig på grunn av dens betydning for kjølevannets eventuelle innlagringsnivå.

Som et moment i forbindelse med innlagring av kjølevann, kan en peke på at et utslipp som trenger gjennom et sprangsjikt (sjikt med stor tetthetsgradient) før det innlagres, representerer en ikke uvesentlig økning i den "naturlige" vertikale komponent-transport gjennom sprangsjiktet.

Siden overtemperaturene er størst i nærsonen, er det særlig viktig å unngå resirkulasjon av kjølevann i dette området. Videre kan nærsonens omfang også være av betydning for biologiske vurderinger. Kunnskap om nærsonens utbredelse under varierende ytre forhold er derfor av betydning. En rask fortykning og temperaturreduksjon i nærsonen forutsetter en tilstrekkelig kjølevannskapasitet i resipienten. Vurderinger av netto vanntransport ved utslippsstedet står av den grunn sentralt i bedømmelsen av resipientforholdene.

Fjernsonen er av vesentlig større tids- og romomfang enn nærsonen. Forholdene i fjernsonen er ikke-stasjonære, det er tilstrekkelig å peke på de sesongmessige fluktuasjoner. Da forholdene i fjernsonen vanskelig kan behandles analytisk, vil en beskrivelse av utløpets forløp og effekt i dette området bli kvalitativ. Nøyaktige beregninger, selv for relativt enkle topografiske og strømningsmessige forhold, krever spesielt utviklede og svært omfattende regnemaskinrutiner. Ikke desto mindre er det kanskje nettopp utslippets påvirkning av forholdene i fjernsonen som til sist kan bli avgjørende ved vurderingen av byggestedsalternativets resipientkapasitet. Dette gjelder særlig for de tilfeller hvor utslippsvarmen kan akkumuleres. I den foreliggende undersøkelse er indre Oslofjord et eksempel på en fjernsone hvor eventuelle akkumulasjonsvirkninger har måttet vurderes.

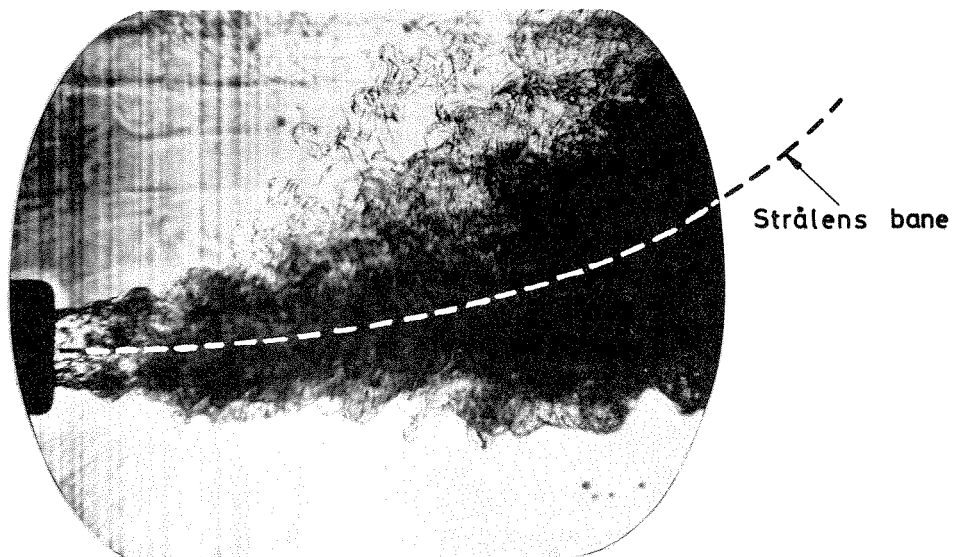
Ved behandlingen av de forskjellige byggestedsalternativer er beregninger og vurderinger basert på visse antagelser vedrørende kjølevannsystemets inntaks- og utslippsarrangement, utslippets fysiske dimensjoner samt kjølevannets utløpshastighet og -temperatur. En har blant annet satt det maksimale inntaks- og utslippsdyp til 30 meter, den maksimale utløpshastighet for dykket utslipp og for overflateutslipp til henholdsvis 4 m/s og 2 m/s, temperaturøkningen på kjølevannet gjennom kondensatorene til 10°C, og den maksimale kjølevannsmengde gjennom kondensatorene til 200 m³/s. Disse antakelser er i samsvar med dem som er benyttet i foregående VHL-rapporter under hovedtittelen "Kjernekraftverk i Oslofjordområdet". De er også i samsvar med de verdier man finner ellers i litteraturen {PARKER & KRENKEL (1969), PRYCH (1972) og STOLZENBACH & HARLEMAN (1971)}. Videre er det antatt følgende fire kombinasjoner av inntaks- og utslippsnivåer: (i) Dypinntak/dyputslipp, (ii) Overflateinntak/dyputslipp, (iii) Dypinntak/overflateutslipp og (iv) Overflateinntak/overflateutslipp.

4.2 Analysemetode for utslippets forløp i nærsonen

Fortynningen av kjølevannet i nærsonen er beregnet for dykket utslipp (30 m) og for utslipp i overflaten.

Beregninger av dyputslippets initialfortynning (fortynning i nærsonen) følger i hovedtrekk de prinsipper som er utledet av FAN (1967). Det tas i beregningene hensyn til den vertikale saltholdighets- og temperaturfordelingen. Strøm i resipienten er ikke inkludert i beregningene. Strømmens effekt ligger hovedsakelig i modifisering av utslipps-strålens horisontale bane, og ikke i strålens fortynningsforløp.

En har i vurderingene av dyputslipp også hatt begrenset støtte i laboratorieforsøk. Figur 4 viser et forsøk med dykket stråle. Tettheten i de omkringliggende vannmasser er større enn utslippvannets og øker med økende dyp. Figuren gir et inntrykk av strålens effektive medrivning og innblanding med vannet omkring. Strålebanens krumning er en følge av strålens oppdrift.



Figur 4. Forsøk med dykket stråle i lagdelt vann

Beregninger av overflateutslippets initialfortynning når utslippsvannet er lettere enn resipientvannet (undervektig utslipp), er utført etter et beregningsopplegg utviklet av STOLZENBACH & HARLEMAN (1971). Slike utslipp vil forekomme når både inntak og utslipp legges i overflatenivå. Beregningene tar hensyn til at kjølevannets spredning og fortynning vil påvirkes av det forhold at kjølevannet er lettere enn de ytre vannmasser. En har dessuten tatt hensyn til strøm i resipienten. En slik ytre strøm vil kunne modifisere både utslippets bane og dets temperaturforløp. Effekten av resipientens lagdeling på initialfortynningen av undervektige overflateutslipp er lite kjent og er her bare inkludert rent tilnærmedesvis. Under forhold med sterk lagdeling må beregningene ansees å gi for gunstig initialfortynning.

Overflateutslipp av kjølevann tyngre enn resipientvannet i utslippsnivået (overvektig eller synkende utslipp) har en ikke kunnet vurdere analytisk. Slike utslipp vil kunne forekomme når inntaket legges vesentlig dypere enn utslippet. Her har en måttet benytte helt anslagsmessige metoder.

4.3. Analysemetode for utslippets temperaturforløp i fjernsonen.

I undersøkelsen har det vært naturlig å behandle temperaturforløpet i fjernsonen ved to forskjellige analysemetoder. Begge metoder forutsetter et idealisert og forenklet bilde av resipienten. I Vestfjorden har en spesielt undersøkt termiske langtidseffekter av en eventuell transport av avløpsvarme til området. I fjernsonen for øvrig har en sett på resipienten som et tolagssystem med et strømmende overlag og et stillestående underlag. Strømmen i overlaget anses som konstant. Kjølevannet, enten det er innlagret eller ligger i overflaten, taper varme både direkte til atmosfæren og ved vertikal diffusjon til resipienten. Den matematiske formulering av problemet er relativt enkel og løsningen kan uttrykkes analytisk.

For å gi et kvalitativt bilde av de langtidseffekter et utslipp vil ha på temperaturforholdene i indre Oslofjord, er det utviklet en numerisk modell.. Modellen er en endimensjonal varmelikning med konveksjonsledd og kildeledd, hvor fjordens vertikale arealfordeling er tatt med. I modellen er det antatt at fjordens vertikale saltholdighetsgradient ikke påvirkes av et kjølevannslipp. Alle beregninger er foretatt ved bruk av regnemaskin.

4.4. Behandling av hydrofysiske data.

Ut fra observert saltholdighet og temperatur har en beregnet tetthet. I de tilfelle hvor datagrunnlaget har vært tilstrekkelig, har en over ulike perioder beregnet middelverdi og standardavvik av saltholdighets-, temperatur- og tetthetsverdiene for hvert måledyp på hvert enkelt sted.

Observasjonsmaterialet fra strømmålingene er for hver måleperiode blitt redusert til maksimal strømhastighet, middelhastighet, antall observasjoner og transportprosent innen hver 10° sektor. Videre har en beregnet middelstrøm, netto vanntransport i en gitt retning og strømmens stabilitet.

5. VIRKNINGER PÅ BIOLOGISKE FORHOLD

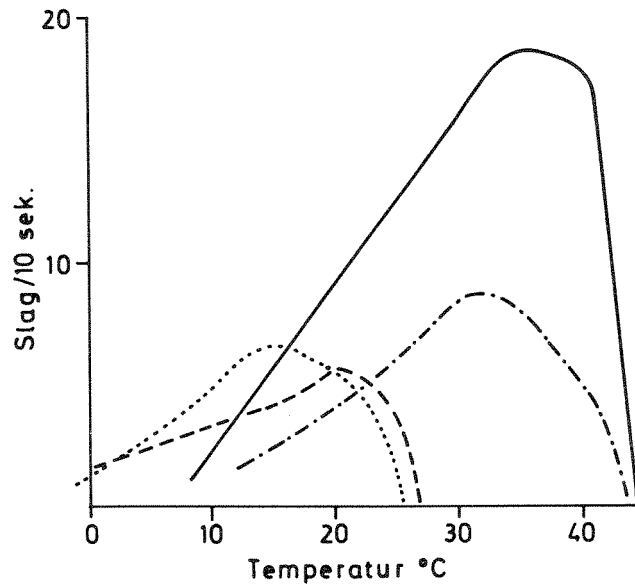
Kjølevann fra kjernekraftverk vil kunne indusere endringer av fysisk og biologisk karakter i resipienten. Forhold som kan føre til biologiske virkninger, knytter seg særlig til endringer i vannmassenes temperatur og transport av organismer gjennom kjølevannsystemet. Radioaktive stoffer tilført kjølevannet kan også ha biologiske konsekvenser.

En gjennomgåelse av disse forhold blir gitt i dette kapittel.

5.1. Organismens evne til å tilpasse seg forskjellige temperaturforhold.

Dyr og planter stiller bestemte temperaturkrav til sine omgivelser. Deres livsprosesser er influert av temperaturen ved at den påvirker hastighet og forløp for biokjemiske prosesser, påvirker egenskapene til den viktigste biologiske væsken vann, og påvirker grunnleggende egenskaper ved organiske forbindelser {KINNE (1970)}. De fleste dyr og alle planter i sjøen har en temperatur som er nær sjøvannets temperatur, dermed er deres livsprosesser direkte influert av ytre temperatur.

Biologiske prosessers hastighet øker normalt med økende temperatur opp til et maksimalt nivå hvor en forsatt temperaturøkning medfører nedgang i aktiviteten. Dette illustreres av figur 5 som viser aktiviteten til næringsopptaksmekanismen for en del rur-arter. Figuren viser også det forhold at aktivitetsmaksimum oppnås ved høyere temperatur for de tropiske artene enn for de arktiske artene. Disse har imidlertid større aktivitet enn de tropiske ved de laveste temperaturer.



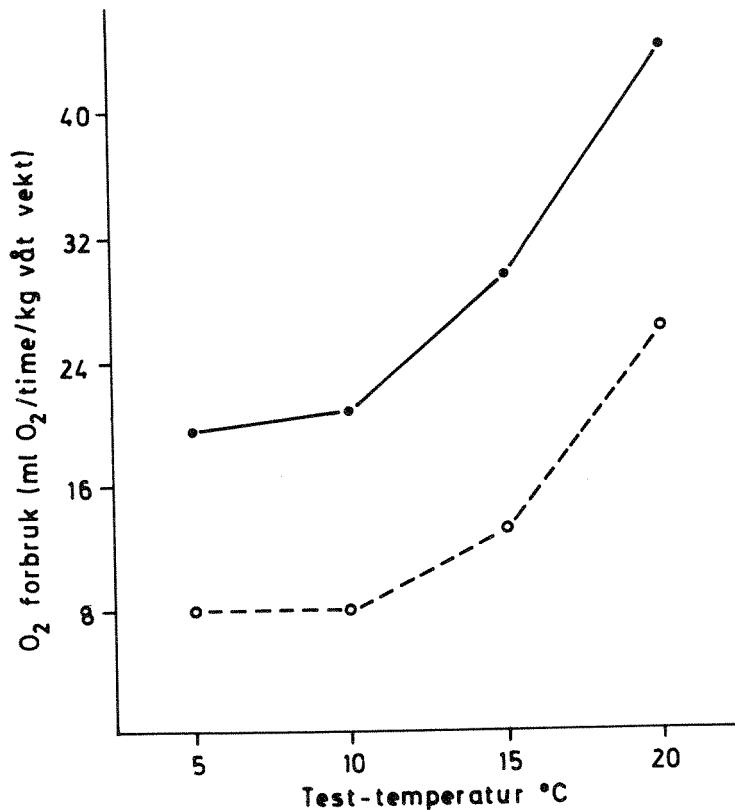
Figur 5. Aktivitet til rurarters cirrer (rankeføtter) ved ulike temperaturer.

- En stor arktisk art (*Balanus balanus*)
- En liten arktisk art (*Balanus cerratus*)
- En liten tropisk art (*Balanus amphitrite*)
- En stor tropisk art (*Tetraelita squamosa*)

Cirrenes aktivitet er et mål på næringsopptak. {SOUTHWARD (1964) modifisert}.

Livsprosessene i en levende organisme er et komplisert samspill av oppbyggende og nedbyggende, energikrevende og energiskapende biokjemiske prosesser. Hvis organismen skal fungere, må alle disse reaksjoner foregå "balansert". På basis av temperaturens avgjørende innflytelse på slike prosessers hastighet og balanse skulle man vente at organismenes livsprosesser var sterkt temperaturavhengige. Utviklingen av spesielle fysiologiske mekanismer har imidlertid satt enkelte

organismer, de euryterme, i stand til å tilpasse sitt aktivitetsnivå etter temperaturen. Denne tilpasningsevnen setter dem i stand til å leve under ulike temperaturforhold. En rekke andre arter, de stenoterme, har dårlig tilpasningsevne og kan bare leve innenfor et snevert temperaturområde. Tilpasning av aktivitet til ulike temperaturforhold illustreres i figur 6 som viser forskjellen mellom oksygenforbruk hos sjøpiggsvin tilpasset henholdsvis lave og høye temperaturer. Tilpasningen har medført at individer tilpasset lav temperatur har samme aktivitetsnivå ved lave temperaturer som individer tilpasset høy temperatur har ved høye temperaturer. I eksemplet illustrert i figur 6, har de kaldtvannstilpassede individer samme oksygenforbruk ved 10°C som de varmtvannstilpassede har ved ca. 18°C.



Figur 6. Oksygenforbruk for voksne sjøpiggsvin, *Strongylocentrotus purpuratus*, tilpasset henholdsvis 5°C (—) og 14-19°C (----) og testet ved de indikerte temperaturene. {FARMANFARMAIAN & GIESE (1963) modifisert}.

Organismenes tilpasning til endret temperatur krever tid. Varigheten av en temperaturpåvirkning vil derfor ha stor betydning for de biologiske forholdene. Evnen til å tilpasse seg forskjellige temperaturforhold er en arvelig egenskap. En generasjons tilpasning til en endret temperatur er ikke arvelig, dvs. tilpasningen overføres ikke til avkommet. Ved en langvarig påvirkning gjennom generasjoner, vil man derimot ved den naturlige seleksjon få nedarvet en tilpasning til et bestemt temperaturområde. Dette området kan være vidt, euryterme arter, eller snevert, stenoterme arter. Denne arvelige tilpasning illustreres i figur 5. Aktivitetskurven er "skjøvet" mot høyere temperatur for de tropiske artene, sammenliknet med de arktiske.

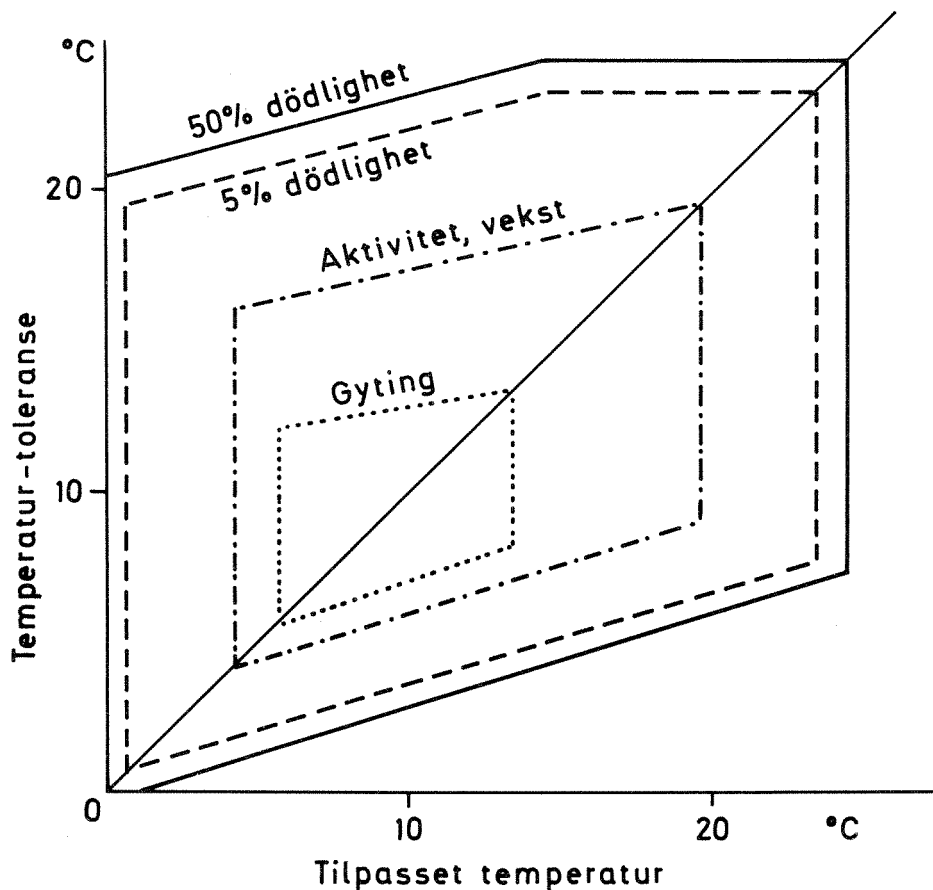
5.2. Temperaturenens virkning på artenes utbredelse.

Temperaturen er en av de faktorer som setter grenser for de enkelte arters utbredelse. Svært få arter kan leve over hele temperaturområdet som forekommer i havet. Hvis en organisme blir utsatt for en temperatur der den i det hele tatt ikke kan fungere, dør den. Slike temperaturer kalles letaltemperaturer. Subletale temperaturer er temperaturer som organismen ikke direkte dør av. Imidlertid hemmes viktige aktiviteter slik at artens muligheter til å opprettholde bestanden reduseres.

Letale temperaturer er forholdsvis enkle å bestemme, for eksempel ved laboratorieforsøk. Det finnes standardiserte forsøksoppsett til bruk ved slike undersøkelser. Letaltemperaturer er derfor fastlagt for en rekke organismer. Imidlertid må disse grenseverdier ikke oppfattes som de grenser organismen kan fungere innenfor i naturen. Disse siste grensene kan være langt snevrere. I denne sammenheng er det viktigere å bestemme subletale temperaturgrenser. Disse er vanskeligst å fastlegge fordi subletale effekter ofte først gir

seg utslag ved at organismen ikke fungerer i sitt naturlige miljø. Derfor vil man ikke på enkel måte kunne observere dem i laboratoriet.

Svært ofte er det temperaturområdet hvor forplantning kan finne sted, særlig snevert. Disse forhold illustreres i figur 7. Figuren viser dødelighetstemperaturer samt grense for aktivitet, vekst og gyting for en lakseart ved ulike tilpassingstemperaturer. Grensene for aktivitet, vekst og gyting er de vesentlige i denne sammenheng.



Figur 7. Temperaturpolygon som viser målte og hypotetiske temperaturtoleranser for en lakseart ("Sockeye salmon") tilpasset ulike temperaturnivåer. {BRETT (1959)}.

Bevegelige organismer, som for eksempel fisk, kan oppsøke områder med egnet temperatur, mens fastsittende organismer, som for eksempel muslinger og alger, bare kan forplante seg når temperaturen blir brukbar der de lever.

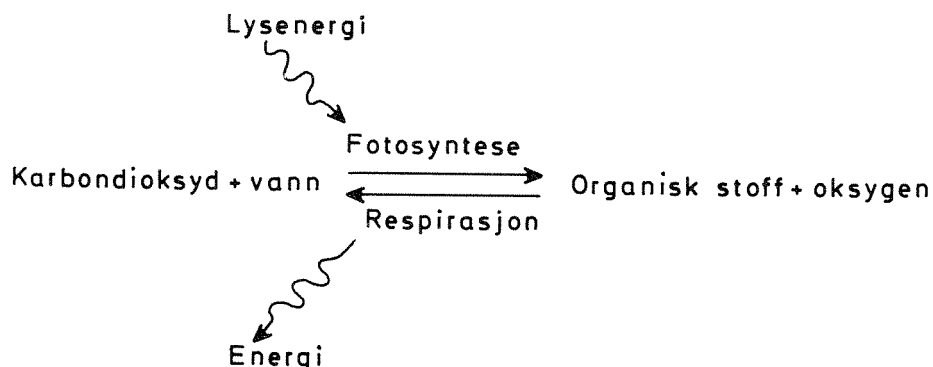
De første stadier av en livssyklus er normalt særlig ømfintlige overfor ytre forhold. Utvikling av egg og larver foregår innenfor snevrere temperaturgrenser enn de som voksne dyr kan tolerere. Skal man få oversikt over en arts samlede reaksjon på temperatur, må man derfor studere den gjennom hele dens livssyklus.

5.3. Temperaturen som utløsende faktor for forplantning.

Temperaturen kan være bestemmende eller medvirkende faktor med hensyn til tidspunktet for spesielle livsytringer. Det er vanlig at temperaturen alene eller sammen med for eksempel lysforholdene er utløsende faktor for forplantningen. Dyr gyter ofte ved en bestemt temperatur eller etter en bestemt temperaturforandring. Videre er gytingen tilpasset næringsorganismenes opptreden. Forplantningen foregår normalt når næringstilgangen for larvene er god. Svært ofte er næringsorganismene planktoniske alger. Planteplanktonets mengde i våre farvann er sterkere lys- enn temperaturkorrelert. Særlig store forekomster av planteplankton opptrer i sjøen tidlig om våren når lyset er blitt godt nok til å få til en planteproduksjon (våroppblomstring). En temperaturøkning kan forskyve gytingen til et tidligere tidspunkt, mens plantenes våroppblomstring ikke påvirkes tilsvarende. Resultatet kan bli at larvene kommer i sjøen på en tid da næring ikke finnes, og at de dermed ikke overlever.

5.4. Primærproduksjonens temperaturavhengighet.

Fotosyntesen, dvs. plantenes omdannelse av karbondioksyd til organisk stoff med sollys som energikilde, er grunnlag for alt liv. Nettoproduksjonen, dvs. det av det dannede organiske stoff som lagres i planten, er differansen mellom fotosyntese (oppbygging av organiske forbindelser) og respirasjon (nedbygging av organiske forbindelser). Skjematisk kan dette fremstilles slik:



Produksjonen er proporsjonal med forbruket av karbondioksyd og med produsert oksygen og kan måles som innbygging av radioaktivt karbon i plantene og som produksjon av oksygen.

Fordi alt liv er avhengig av plantenes oppbygging av organisk stoff, er det viktig å vite hvordan et varmtvannsutslipp i et fjordsystem kan påvirke denne produksjonen. Kjølevannsutslipp fra et kjernekraftverk kan virke både direkte ved temperaturøkningen og indirekte ved å endre andre faktorer som påvirker produksjonen.

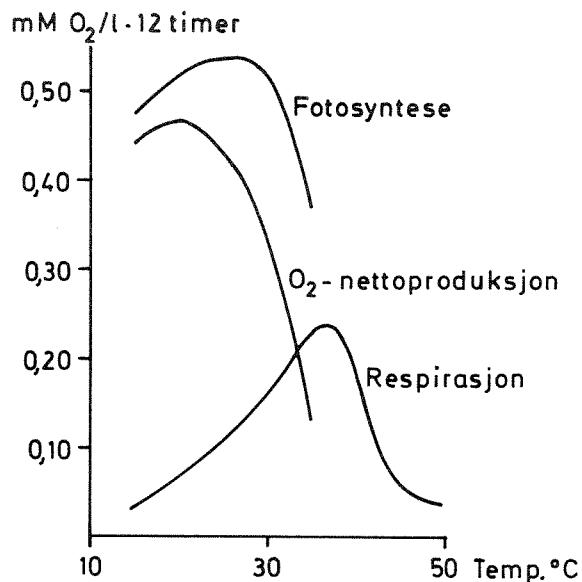
Temperatures direkte virkning på produksjonen kompliseres ved at fotosyntesen består av en lysavhengig prosess og av en "mørk", temperaturavhengig prosess. Dette betyr at både lys og temperatur påvirker fotosyntesen. Andre ledd i plantenes oppbygging av organisk stoff kan påvirkes av andre fak-

torer, som fosfor- og nitrogenforbindelser, jern osv. Dette kompliserer bildet ytterligere. Høyere temperatur kan bare øke produksjonen når ikke andre forhold er begrensende. Lyset er begrensende om vinteren. Tilførsel av plantenæringsstoffer kan være begrensende om sommeren.

Respirasjon er temperaturavhengig. Den dobles omtrent for hver tiende grad opp til et maksimum der den går sterkt ned fordi fysiologiske prosesser bryter sammen. Også fotosyntesen øker opp mot et slikt maksimum når andre faktorer ikke er begrensende, og nettoproduksjonens temperaturavhengighet bestemmes av hvordan disse to prosesser endrer seg i forhold til hverandre. Dette illustreres i figur 8. Figuren viser videre at virkningen av en temperaturøkning på produksjonen i et område er avhengig av hvor på temperaturskalaen man finner seg i forhold til den temperaturen der produksjonen er maksimal. Maksimal produksjon foregår normalt ved høyere temperatur enn den som er aktuell i et område, i hvert fall når temperaturen er forholdsvis lav. Moderate temperaturøkninger må derfor forventes å øke produksjonen når ikke andre faktorer er begrensende.

Gjennom vinteren er planteproduksjonen lav i våre farvann. Dette skyldes ikke temperaturen, men liten lysintensitet og ustabile vannmasser. For den overvintrende bestanden kan respirasjonen være høyere enn fotosyntesen, slik at planktonalgene tærer på sine reserver. Ved de lave lysintensitetene vi har om vinteren, er det lite sannsynlig at en temperaturøkning skal kunne stimulere fotosyntesen. Resultatet kan bli økt tæring på reservene gjennom vinteren fordi respirasjonen øker med økende temperatur.

Temperaturøkning kan føre til økt omsetningshastighet av næringsalter. Når disse finnes i lav konsentrasjon, kan dette bety at tilgangen på næring øker, og dermed stimuleres produksjonen.



Figur 8. Fotosyntese, respirasjon og O₂ (oksygen)-nettoproduksjon ved ulike temperaturer i råkultur av planktonalger fra Østersjøen. {Etter GRIP (1970) publisert av ERIKSON OG FORSBERG (1971)}

Kjølevannsystemet vil under visse forutsetninger (se punkt 4.1) kunne transportere plantenæringsstoffer fra dypene under sprangsjiktet og opp i produksjonslaget. Når dette skjer til tider da næringstilgangen er begrensende, vil det føre til en økt produksjon.

5.5 Temperaturens innflytelse på visse miljøfaktorer og på samspill mellom miljøfaktorer.

Temperaturen kan ha indirekte virkninger i biologiske systemer ved sin påvirkning av andre ytre faktorer. Oksygenbalansen i vannmassene er spesielt viktig. Oksygen som er nødvendig for alle høyere organismer, tilføres vannet fra atmosfæren og produseres i overflatelaget ved planters fotosyntese. Temperatur-

økning kan føre til økt respirasjon og produksjon, og dermed til økt oksygenforbruk. Dette er av stor betydning for vannmasser med dårlig oksygentilgang, som for eksempel dyplagene i indre Oslofjord.

I våre farvann er islegging en viktig økologisk faktor. Særlig utsatt for is er de planter og dyr som lever i strandsonen. Disse organismene kan bli skrappt bort av isen. Etter harde isvintre er strandflora og -fauna redusert. Nettopp på grunn av isvirkningen er strandsonen i arktiske strøk fattig på liv. Dersom kjølevannsutslippet fra et kjernekraftverk kan hemme islegging, vil dette redusere isens virkning på livet i fjorden.

Temperaturen er sjelden den eneste begrensende faktor som virker på organismesamfunn. Av andre viktige faktorer kan nevnes saltholdighet, oksygeninnhold, lys, egnet substrat, nærings-tilgang, biologisk konkurranse, forurensning etc. Hvis en art lever under stress fra en eller flere slike faktorer, reduseres dens evne til å tåle ekstreme temperaturer.

De enkelte artene i dyre- og plantesamfunn reagerer ulikt på temperaturforandringer. En temperaturendring vil derfor kunne påvirke de kompliserte relasjoner innen arter og mellom arter og føre til endringer i samfunnene på kortere eller lengre sikt.

5.6. Virkning på organismer som transporteres gjennom kjølevannsystemet.

Småfisk og planktonorganismer som pumpes gjennom kjølevannsystemet utsettes for mekaniske påkjenninger, temperatursjokk og eventuelle giftstoffer som tilsettes kjølevannsystemet for å hindre begroing. Planktoniske organismer er ømfintlige og

det er sannsynlig at mange vil ødelegges i systemet. De organismene som er drept, føres ut i fjorden og synker. Dyr og planter trekkes dermed bort fra de fri vannmasser, og bunnen tilføres dødt organisk materiale. Enkelte arter kan bli desimert ved at for store deler av bestanden ødelegges. Dersom noen arter er mer utsatt enn andre, kan konkurranseforhold bli endret. Viktig i denne forbindelse er hvor store deler av bestandene som pumpes gjennom anlegget, og i hvilken grad de ødelegges i kjølevannssystemet. Dette er avhengig av inntakets plassering i forhold til planktonets utbredelse, av inntakets konstruksjon, av strømhastigheter mot inntaket, av resipientens kjølevannskapasitet samt organismenes toleransegrenser overfor temperatursjokk, mekaniske påvirkninger og giftvirkninger.

5.7. Om foreliggende erfaring fra varmtvannsutslipp.

Virkning på biologiske forhold fra varmekraftverk er behandlet av blant annet NAYLOR (1965), IAEA (1971) og av flere forfattere i Chesapeake Science Vol. 10 (3 & 4) 1969. I de områder som har vært under innflytelse av kjølevannsutslipp, har fenomener som utryddelse av arter, nyopptreden av arter, økt produksjon, forandring av gyteforhold, økte veksthastigheter osv. gjort seg gjeldende {NAYLOR (1965), MORGAN & STROSS (1969), HEINLE (1969), NAUMAN & CORY (1969), BARNETT (1971 og 1972)}. Tydelige utslag i slike forhold er påvist, men vi har til nå ingen rapport om drastiske ødeleggelse av vegetasjon og fauna i større områder.

5.8. Utslipp av radioaktive stoffer i sjøen.

Under drift av et kjernekraftverk vil det bli sluppet ut små mengder radioaktive stoffer. Det er vanlig å blande disse inn i den utgående kjølevannsstrømmen. De stoffer det dreier seg om, er radioaktive isotoper fra selve fisjonsproses-

sen (som for eksempel av elementene H, Ru, Mo, Sr, J, Cs, Ce) og radioaktive isotoper dannet ved direkte nøytronbestråling (for eksempel av elementene H, Na, Fe, Zn, Co, Cu).

Etter at de radioaktive stoffene kommer ut i resipienten, inngår de i de fysiske, kjemiske og biologiske prosesser som foregår der, og levende organismer vil komme i kontakt med stoffene.

Ved vurderingen av utslipp av radioaktive stoffer er det nødvendig å sikre seg at radioaktive utslipp ikke medfører en risiko for skader på mennesker eller andre organismer. Det er imidlertid antatt at den stråleeksponering mennesker kan bli utsatt for, er av primær interesse i denne sammenheng. For mennesker tar en hensyn til skader på enkeltindivider, mens man når det gjelder andre organismer, tar hensyn til skader i hele bestander.

Forholdene i resipienten har betydning for hvordan, og i hvilken mengde, de radioaktive stoffene kan komme frem til mennesker. Disse forholdene skal kort behandles i det følgende.

Fortynning.

Utslipp i kjølevannet fører til at de radioaktive stoffene får en rask fortynning. Deretter vil den videre blanding av kjølevannet med vannmassene i resipienten avgjøre hvordan den fortsatte fortynning vil forløpe. De hydrofysiske forhold i utslippsområdet må være kjent hvis man skal kunne forutsi spredningen av radioisotopene i resipienten.

Konsentrasjon på partikler.

Radioisotopene kan konsentreres på partikler ved adsorpsjon eller ionebytte. Konsentrasjonsfaktoren øker med minkende

partikkeldiameter. Partiklenes kjemiske sammensetning, hvilke mineraler de består av og isotopenes kjemiske forbindelser, har også stor betydning. Konsentrering på partikler fører til at radioaktiviteten tilføres sedimentene. Mudderbanker kan bli sterkere forurenset med radioaktivitet enn sandstrender.

Konsentrasjon i organismer.

Levende organismer har evne til å konsentrere visse elementer og derfor også radioaktive isotoper. Forekommer det radioaktive og ikke radioaktive isotoper av samme element i samme kjemiske og fysiske form i sjøen, vil radioisotopene konsentrere på samme måte som de ikke radioaktive isotopene. Hvis de radioaktive og ikke radioaktive isotoper av et element finnes i ulik form, vil konsentrasjonsfaktoren kunne være ulik.

Organismer som er bevegelige, vil kunne spre det radioaktive stoffet. Dyreplankton som spiser radioaktivt planteplankton i overflaten, vil for eksempel kunne frakte denne radioaktiviteten med seg ned i vannmassene. Dette kan øke vertikaltransport og sedimentering av radioaktivt stoff.

Praktisk bedømmelse.

Som nevnt vil de radioaktive isotoper opptas og konsentreres av organismer og knyttes til sedimenter, og kan således via forskjellige veier komme i kontakt med mennesker. Hvordan en slik transportvei i detalj kan komme i stand, vil avhenge av de spesielle forhold i det område stoffene slippes ut og spres.

Man skiller gjerne mellom to forskjellige måter hvor kontakt med radioaktive stoffer vil medføre stråleeksponering:

(I) Som intern bestråling ved at radioaktive isotoper akkumuleres i spesielle næringskjeder som fører fram til mat for mennesker.

(II) Som ekstern bestråling ved opphold og kontakt med forurenset materiale eller gjenstander i området (badestrender, fiskeredskap etc.).

Den viktigste oppgave når det gjelder kontrollen med utslipp av radioaktive stoffer, er å klarlegge de ovenfor nevnte forhold i størst mulig detalj før utslipp finner sted. En slik undersøkelse muliggjør beregning av resipientens kapasitet til å motta radioaktive stoffer, når man har fastsatt den stråledose de mest utsatte mennesker kan tillates å motta via de mest kritiske transportveier. Med de tekniske muligheter man når over for kontroll og reduksjon av utslippene, har det vist seg at det er ingen større problemer forbundet med å holde seg innenfor de beregnede maksimalt tillatelige utslipp.

Resipientens egenskaper til å motta radioaktive stoffer vil derfor neppe få stor betydning ved et første valg mellom flere lokaliseringalternativer.

Virkning av ioniserende stråling på marine organismer.

Virkningen av ioniserende stråling på marine organismer og organismsamfunn har vært studert både ved kortvarig bestråling med store doser og ved mer langvarig bestråling med lave doser.

Den mengde stråling som skal til for å være dødelig, varierer meget for de forskjellige arter, og er også avhengig av slike faktorer som alder, størrelse og fysiologisk status. Dessuten vil miljøfaktorer som temperatur og saltholdighet være av betydning. De fleste marine organismer som man har data for, ser ut til å være relativt motstandsdyktige for stråling.

Dette gjelder imidlertid ikke fiskeegg og larver. Omfattende laboratorieforsøk har vært foretatt for å studere virkningene av langvarig bestråling ved lave doser, en bestrålingsmåte som er av interesse når det gjelder utslipp av radioaktive stoffer. Disse studier, med unntak av noen russiske forsøk,

indikerer at de stråledoser som er nødvendig for å fremkalle påvisbare biologiske effekter, er betraktelig høyere enn de stråledoser som er aktuelle ved utslipp av radioaktive stoffer fra kjernkraftverk.

De steder hvor det har foregått kontrollerte utslipp av radioaktive stoffer til det marine miljø, har det også vært foretatt omfattende feltstudier av de biologiske forhold for å finne eventuelle strålingseffekter. Disse undersøkelser har foregått over lengre tid, men det har ikke vært mulig å påvise effekter eller forandringer som entydig kan tilskrives strålingen.

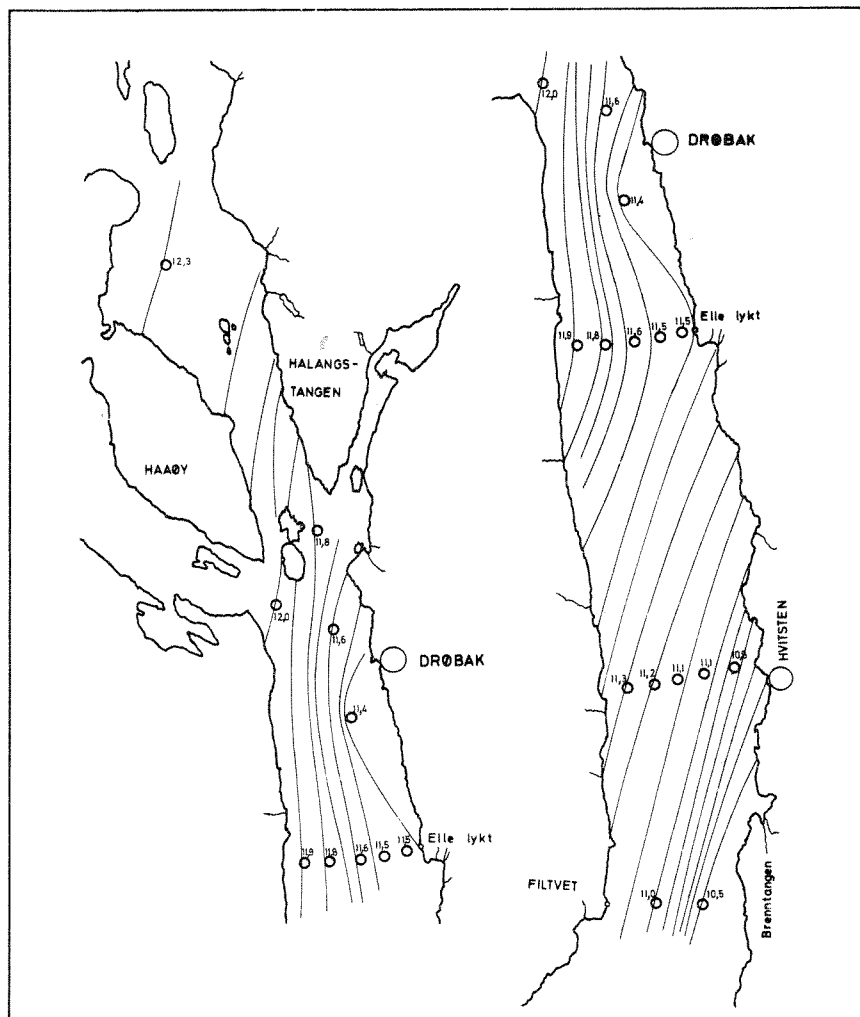
Genetiske effekter ved bestråling av populasjoner har også vært studert. Resultatene av disse undersøkelser indikerer at man ved høye doser kan få stort antall arvelige forandringer. Imidlertid synes formerings-potensialet i de fleste tilfeller å være stort nok til at bestandens størrelse kan holdes på samme nivå.

6. HYDROFYSISKE VURDERINGER AV BYGGESTEDSALTERNATIVET BRENNTANGEN

6.1. Hydrografi

Brenntangen ligger på østsiden av fjorden i den sydlige del av Drøbaksundet. I Drøbaksundet er det særlig vannmassene fra overflaten og ned til ca. 40 meter som interesserer i forbindelse med et kjølevannsutslipp. Dette vannlaget påvirkes av vannmasser både fra Breiangen og indre Oslofjord. Fra indre Oslofjord er det en netto transport til Drøbaksundet som tilsvarer netto ferskvannstilførsel til indre fjord.

Figur 9 viser midlere isopykner (linjer for lik tetthet) i 1 m dyp i Drøbaksundet for 15 måleserier utført i juni-juli 1972.



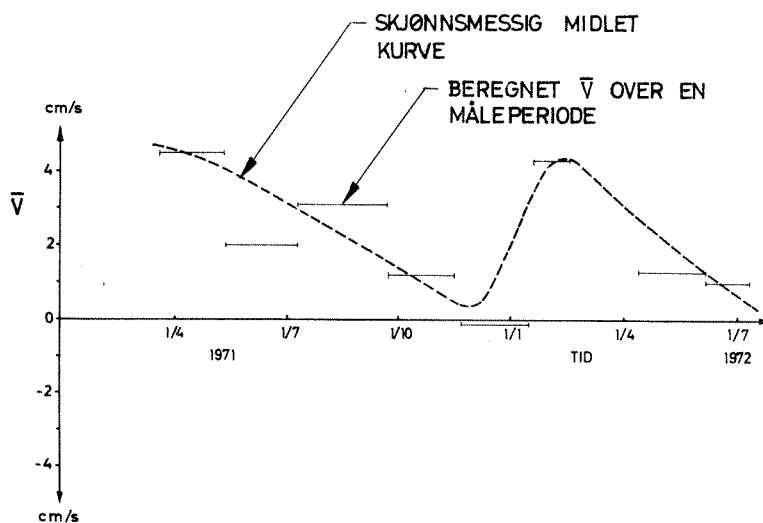
Figur 9. Midlere tetthet σ_t i 1 m dybde i Drøbaksundet for juni-juli 1972.

Isopyknene innenfor Drøbakerskelen er trukket på skjønnsmessig grunnlag. Figuren viser at vann som kommer fra indre Oslofjord, blandes med vann med mindre tetthet fra Breianger-området.

I KIO NR. 2, del 1, er typiske årsvariasjoner i temperatur og tetthet for Drøbaksundet vist. Det fremgår der at det om våren og sommeren blir dannet et sterkt sprangsjikt i de øverste 10-15 m. Denne sterke lagdelingen svekkes utover høsten, og om vinteren kan det inntreffe situasjoner med meget små vertikale tetthetsdifferanser i de øverste 30-50 m. Om sommeren kan sprangsjiktet i overflatelaget svekkes ved sterk vindblanding.

6.2. Strømforhold.

Siden 17/3 1971 har det på sundets østside utenfor Brenntangen vært stasjonert en målerigg med tre selvregistrerende strømmålere (Aanderaa-målere). Det er målt i tre dyp: 5, 12,5 og 20 m. Fra disse målingene har en funnet nordkomponenten av den midlere reststrøm \bar{v} mellom 0 og 20 m dyp (figur 10). Denne gir et kvalitativt uttrykk for netto vanntransport over det angitte dybdeintervall i observasjonspunktet. Med netto vanntransport menes her den transport som gjenstår når de kortperiodiske fluktasjoner i strøm og retning er eliminert.



Figur 10. Nordkomponenten av midlere reststrøm \bar{v} fra 0 - 20 m ved Brenntangen.

Figur 10 indikerer en årlig variasjon i \bar{v} . De årlige variasjonene i tetthetssjiktningen nevnt foran kan blant annet være av betydning i denne sammenheng. Spesielt skal en imidlertid merke seg at \bar{v} i alle måleperioder unntatt én er rettet mot nord. For de minste \bar{v} -verdiene viste målingene at reststrømmen i de enkelte måledypene kunne ha forskjellig retning, selv om transporten totalt (\bar{v}) var nordoverrettet. Karakteristisk for de store \bar{v} -verdiene er en nordoverrettet reststrøm i alle tre observasjonsdyp. Dette medfører mulighet for transport av avløpsvarme til indre Oslofjord. Videre medfører dette at det i tillegg til eventuelle vertikale strømskjær også kan være en horisontal kompensasjonsstrøm rettet mot syd langs Drøbaksundets vestsida, dvs. et langsgående horisontalt strømskjær i sundet.

For å kartlegge dette eventuelle strømskjær og vurdere muligheten for transport av oppvarmet kjølevann til indre Oslofjord, ble det i juni-juli 1972 foretatt hydrofysiske målinger. Fra målingene har en konkludert at det er et langsgående strømskjær i sundet med en nordgående reststrøm langs østsida og en sydgående reststrøm langs vestsida. På grunn av tidsvariasjonene i de hydrofysiske parametre vil de absoluttverdier som fremkom fra målingene, kun være representative for den hydrofysiske/meteorologiske situasjon verdiene er fremkommet under. Reststrømberegningene i figur 10 tyder imidlertid på at strømskjæret beholder sin kvalitative karakter, dvs. innstrømning på østsida og utstrømning på vestsida under varierende hydrografiske forhold. En antar at strømskjæret til dels er topografisk betinget. Reststrømvolumet varierer gjennom året avhengig av de hydrografiske og meteorologiske forhold. I middel har en anslått det nordoverrettede reststrømvolum til omlag $800 \text{ m}^3/\text{s}$. Videre har en sluttet at en vesentlig del av det vannvolum som passerer nordover forbi Brenntangen, passerer over Drøbakerskelen og inn i indre Oslofjord.

6.3. Transport til indre Oslofjord

Variasjoner i tettheten utenfor og på Drøbak-terskelen og variasjoner i tettheten i vannet i indre Oslofjord er bestemmende for hvilke dyp i indre Oslofjord som kan få tilførsel av vann utenfra ved innstrømningen over terskelen. En skiller mellom:

1. Dypvannsutskiftning: som refererer til utskiftning av vann vesentlig under sprangsjiktet i indre Oslofjord, og
2. Utskiftning av overflatevann: som refererer til utskiftning av vannlag i og over sprangsjiktet.

Gjennomgåelse av eldre data har vist at dypvannsutskiftninger finner sted i tidsrommet fra oktober til juli. De største utskiftninger finner gjerne sted i tidsrommet desember - mars. Utenom dette tidsrommet forekommer det utskiftninger av relativt mindre omfang. Omfanget av dypvannsutskiftningene varierer fra år til år.

I motsetning til dypvannsutskiftningene er overflateutskiftningene en relativt kontinuerlig prosess. Vind fører til transport i overflatelaget. Vedvarende vind fra syd gir oppstuvning av overflatevann inne i fjorden, mens vedvarende vind fra nord gir transport av overflatevann ut av fjorden. Tidevannet fører vann frem og tilbake over terskelen ved Drøbak. Tidevannsvolumets oppholdstid, spredning og oppblanding i indre Oslofjord er lite kjent. På grunn av de overnevnte prosesser er oppholdstiden generelt kortere for overflatevannet enn for dypvannet i indre Oslofjord.

6.4. Kjølevannsutslippets forløp i nærsonen.

En har i det foregående behandlet de hydrofysiske forhold i utslippsområdet. Utslippets forløp i det hydrofysiske miljøet blir behandlet i de neste avsnitt.

Fortynning av dyputslipp:

Beregninger av primærfortynning ved dyputslipp er gjennomført for fire forskjellige lagdelinger. Disse tilsvarer fire midlere års-situasjoner ved Brenntangen. En har i beregningene antatt en maksimal kjølevannsmengde på $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Siden det er realistisk å anta at et eventuelt dyputslipp vil fordeles på mer enn ett utslipp, har en utført beregninger med 1, 2, 4 og 6 utslipp.

Resultatene fra beregningene for inntak og utslipp i samme dyp (30 m) viser at kjølevannet gjennom mesteparten av året vil kunne innlagres under overflaten. Fordeles kjølevannet på to eller flere utslipp, viser kalkulasjonene at innlagringen for det meste vil skje under det midlere sprangsjiktnivå (8 - 15 m). Fortynningen av strålen skjer relativt raskt, og beregningene antyder at utslippet når sitt innlagringsnivå etter å ha tilbakelagt en horisontal distanse på ca. 100 m fra utslippspunktet. Den nødvendige tetthetsgradient for innlagring synes å være til stede selv under ekstremsituasjoner.

I beregningene av kjølevannets temperatur-reduksjon i nærsonen har det ikke vært mulig å direkte inkludere eventuelle resirkulasjonseffekter. En tenker her på to resirkulasjonsprosesser: (i) direkte resirkulasjon fra utslipp til inntak, og (ii) indirekte "resirkulasjon" ved en temperaturøkning i det tilgjengelige fortynningsvann for utslippstrålens primærfortynning da en må regne med en viss oppholdstid av utslippsvann i området. For å gjøre kalkulasjonene mer realistiske med hensyn til temperatursenkningen i nærsonen, har

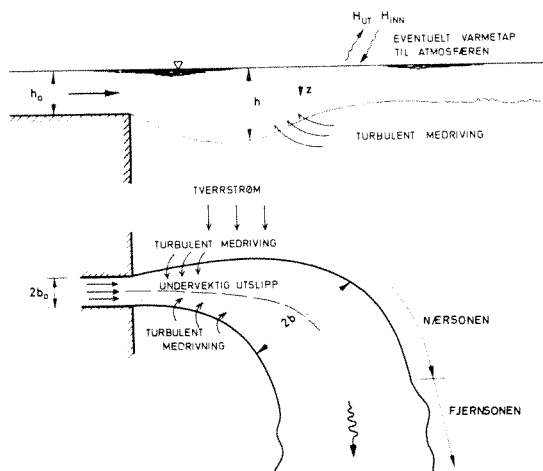
en derfor antatt at tilgjengelige fortynningsvannmengder er begrenset til netto vanntransport representert ved reststrømvolumet. Dette er anslått til omkring $800 \text{ m}^3/\text{s}$ (se punkt 6.2.). Følgelig settes kjølevannets midlere temperaturøkning, etter primærfortynningen i nærsonen, til en fjerdedel av temperaturøkningen gjennom kondensatorene. Denne fremgangsmåte nyttes for en utslippsmengde på $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Reduseres utslippet til $100 \text{ m}^3/\text{s}$ vil temperaturreduksjonen i nærsonen kunne øke.

For kombinasjonen overflateinntak - dyputslipp viser beregningsresultatene at innlagringen av kjølevannet hovedsakelig vil finne sted over sprangsjiktet. Gjennombrudd til overflaten vil kunne forekomme relativt ofte i sommerhalvåret. For resirkulasjonsproblemet er det benyttet de samme betraktningmåter som ved dypinntak - dyputslipp. For begge kjølevannsarrangementer som er nevnt ovenfor, viser en overslagsmessig beregning at tykkelsen på det innlagrede sjikt (for avløpet fordelt på fire utslipp) er ca. 10 m.

Fortynning av overflateutslipp:

Beregninger av primærfortynningen ved overflateutslipp (undervektig) er utført for en utløpsgeometri som vist i figur 11. Det er her antatt en rektangulær utløpskanal med bredde $2b_0$ (12,5 m) og dybde h_0 (8 m). Utslippet forutsettes å ha en utfallsvinkel på 90° til hovedstrømsretningen i området. Bereg-

ninger av utslippets forløp er utført for de samme fire årssituasjonene ved Brenntangen som dyputslippsberegningene omfattet.



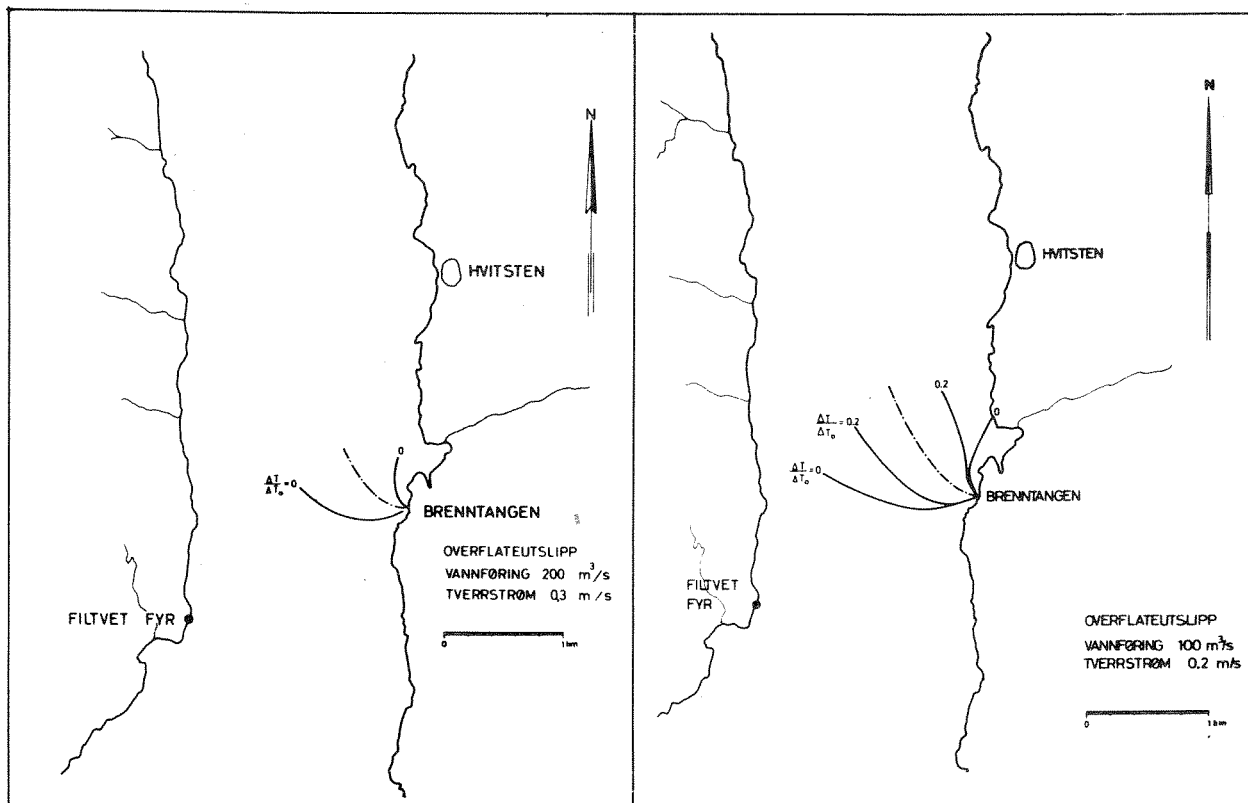
Figur 11. Skisse av overflateutslipp.

Som for dyputslipp vil en måtte regne med en viss resirkulasjon av kjølevannet, og som for dykkede utslipp ($200 \text{ m}^3/\text{s}$) har en følgelig antatt at kjølevannets midlere overtemperatur i nærsonen maksimalt reduseres til en fjerdedel av overtemperaturen i utslippspunktet. Kalkulasjonene for et $200 \text{ m}^3/\text{s}$ utslipp antyder videre at en i ytterkant av nærsonen kan vente en tykkelse av kjølevanns-sjiktet på omlag 10 m.

Senkes utslippets størrelse til $100 \text{ m}^3/\text{s}$, viser resultatene et relativt uendret bilde sammenlignet med kalkulasjonene for et utslipp på $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Utslippets tykkelse reduseres imidlertid fra 10 m til omtrent 5 m. En har antatt at utslippets geometri er som tidligere (figur 11), men at utslippshastigheten er redusert til 1 m/s.

For de angitte utslippsforhold har en funnet at nærsonens utbredelse ved overflateutslipp må ventes å bli vesentlig større enn ved dyputslipp. Et inntrykk av nærsonens omfang for to tilfeller av overflateutslipp i tverrstrøm fåes fra figur 12. I figuren er utslippets beregnede bane og yttergrenser inntegnet i korrekt skala.

For alle beregnings-tilfellene av overflateutslipp fant en at varmetapet til atmosfæren var av liten betydning i nærsonen. Dette er i samsvar med resultatene til STOLZENBACH & HARLEMAN (1971) og PRYCH (1972) og må sees som et resultat av den intense innblanding med resipientvann som finner sted i nærsonen, og som dermed dominerer sonens temperaturforløp. Varmeutvekslingen med atmosfæren har derfor sin største betydning i fjernsonen.



Figur 12. Beregningseksempler på undervektig overflateutslipp ved Brenntangen på 200 og 100 m³/s i nordoverrettet strøm. ΔT er overtemperaturen i et hvert punkt og indeks o refererer til utslippspunktet. (Utslippets plassering er tilfeldig valgt og må ikke oppfattes som en anbefaling av hvor utslippet bør ligge.)

Det ble i punkt 4.2. påpekt at synkende (overvektige) overflateutslipp bare ville bli behandlet rent kvalitativt. Resultatene fra en slik overslagsmessig beregning antyder at legges kjølevannsinntaket i 30 meter (dvs. under det midlere sprangsjiktnivået) og utslippet i overflaten, kan avløpsvannet innlagres over det midlere sprangsjiktnivået (8-15 m). En skal her merke seg at kjølevannspumpingen dermed vil virke som et tillegg til den naturlige vertikaltransport over sprangsjiktet.

6.5. Kjølevannsutslippets temperaturforløp i fjernsonen

Det ble tidligere nevnt at en i fjernsonen har benyttet to analysemetoder, én for tilnærmet beregning av avløpsvarmens termiske langtidseffekt i Vestfjorden, og en forholdsvis enkel beregningsmodell for vurdering av utslippets termiske influensområde i en resipient med strømmende overlag.

Termisk influensområde.

Temperaturforløpet i fjernsonen er her kalkulert med utgangspunkt i den forholdsvis enkle beregningsmodellen nevnt over, samt beregningene for nærsonen. Resultatene viser at et utslipp i overflaten generelt vil ha høyere maksimale overtemperaturer (i fjernsonen) enn et innlagret utslipp. Imidlertid vil mindre vann-volumer påvirkes av overtemperaturer fra et overflatesjikt enn fra et innlagret sjikt. Beregningene viser en vesentlig raskere temperatur-reduksjon når kjølevannets sjikttykkelse reduseres (for eksempel ved reduksjon av utslippsmengden).

For et overflateutslipp på $200 \text{ m}^3/\text{s}$ antyder beregningen at en i sommerhalvåret vil ha en maksimal overtemperatur på ca. $2,2^\circ\text{C}$ ved Drøbak. Samme overtemperatur inntreffer i vinterhalvåret ca. 2,5 km nærmere utslippstedet. For et overflateutslipp på $100 \text{ m}^3/\text{s}$ viser beregningene at en i sommerhalvåret vil ha en maksimal overtemperatur ved Drøbak på ca. $1,1^\circ\text{C}$, mens samme overtemperatur i vinterhalvåret inntreffer ca. 3 km nærmere utslippstedet. En har her antatt at alt kjølevannet transporteres nordover. Dersom alt kjølevannet transporteres sydover, kan det for et overflateutslipp på $200 \text{ m}^3/\text{s}$ ved nordspissen av Jeløya ventes en maksimal overtemperatur på ca. 2°C om sommeren og ca. $1,9^\circ\text{C}$ om vinteren. For et utslipp på $100 \text{ m}^3/\text{s}$ er de tilsvarende tall ca. $0,9^\circ\text{C}$ og ca. $0,8^\circ\text{C}$.

For innlagret kjølevannssjikt viser resultatene for fjernsonen liten variasjon av overtemperaturen i overflaten med økende overflateareal. (Beregningsresultatene er begrenset til 100 km².) Ved et utslipp på 200 m³/s fant en da at overtemperaturen i overflaten kan ventes å bli ca. 0,8°C i vinterhalvåret og ca. 0,6°C i sommerhalvåret. Tilsvarende tall for et utslipp på 100 m³/s er 0,5°C og 0,4°C.

Det understrekes sterkt at resultatene over bygger på en rekke forutsetninger og antakelser og derfor bare må oppfattes som en kvalitativ beskrivelse av utslippets midlere omfang.

Termisk langtidseffekt i Vestfjorden.

I den numeriske modellen har en antatt at Vestfjorden ikke har noen kommunikasjon med fjordområdene innenfor og derfor heller ingen varmeutveksling med dem. Fjordens bredde har en latt variere med dypet, mens fjordens lengde er antatt konstant og lik 21 km. Det er antatt at all dypinnstrømning skjer i samme nivå (60 m) som den innlagres i, uten nevneverdig blanding med overflatevannet. På grunnlag av tilgjengelige temperaturdata fra 1895 til idag, samt en analyse av fjordens varmembalanse (se figur 3), har en forutsatt at dypinnstrømning finner sted fra november til mars. I denne perioden er innstrømningsvolumet satt til 600 m³/s. Temperaturen på dypinnstrømningsvolumet er i første del av perioden satt til omlag 7,5°C, og i siste del av perioden til omlag 6°C. Ved å sammenligne beregnede og observerte temperaturer som en funksjon av tid og dyp, har en vurdert beregningsmetodens godhet. En har konkludert at det er tilfredsstillende overensstemmelse mellom observasjoner (NIVA's målinger 1962 - 65) og beregninger, og at modellen derfor har akseptable verdier på sine inngangsdata, og at den inkluderer de viktigste mekanismer som bestemmer det årlige temperaturforløpet i Vestfjorden. Det bør imidlertid understrekes at modellen bare gir en beskrivelse av en

midlere temperaturløstend i fjorden, og at eventuelle lokale effekter både i tid og rom følgelig utelates.

For å beregne temperaturforløpet i Vestfjorden, dersom et kjernekraftverk settes i drift ved Brenntangen, er den numeriske modellen endret noe. Innstrømningstemperaturen er endret slik at den tar hensyn til temperaturøkningen på det innstrømmende vann. Det er antatt at varmetilførselen til Vestfjorden på grunn av avløpsvarmen vil skje med dypinnstrømningene fra november til mars, og at temperaturøkningen ikke vil påvirke innlagringsnivået. Resten av året er det antatt at varmetilførselen skjer i overflaten. I modellen er dette representert som et ekstra bidrag til temperaturgradienten i overflaten, dvs. en lar varmetilførselen som skyldes avløpsvarmen komme inn i den numeriske modellen på samme måte som solstrålingen. Et inntrykk av utslippets avløpsvarme får en ved å sammenligne avløpsvarmen med innkommende kortbølget stråling (stråling fra sola). Et utslipp på $200 \text{ m}^3/\text{s}$ (8400 MW) utgjør omlag 45% av midlere årlig innkommende kortbølget stråling til indre Oslofjord (200 km^2).

For å beregne varmetilførselen til Vestfjorden har en, hvis ikke noe annet er sagt, antatt at 50% av avløpsvarmen transporteres nordover fra utslippstedet. Mellom Brenntangen og Drøbakterskelen antar en at kjølevannssjiktet taper varme som beskrevet tidligere. De antakelser som ligger til grunn for beregning av overtemperaturer, er av en slik art at de vil underestimere temperaturøkningen noe. I kalkulasjonene er hovedvekten lagt på å studere virkningen av avløpsvarmen fra et kjernekraftverk på 4000 MWe (dvs. en avløpsvarme på 8400 MW eller $200 \text{ m}^3/\text{s}$ vann oppvarmet 10°C). Det viser seg da at for alle de behandlede inntaks- og utslippskombinasjoner, synes størrelsen av varmetilførselen til Vestfjorden på grunn av avløpsvarmen å kunne bli omtrent den samme.

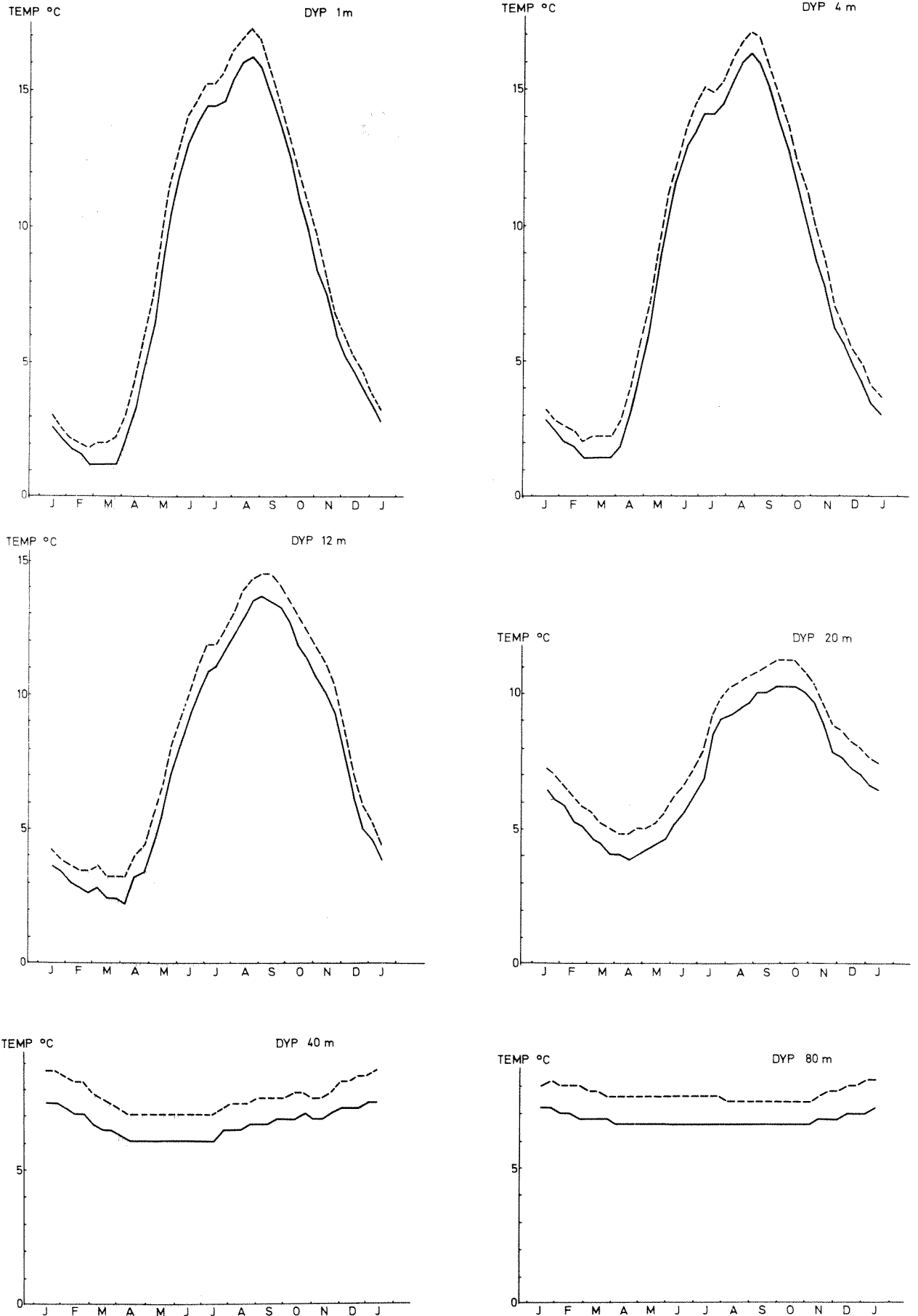
Figur 13 gir en sammenlikning mellom beregnet temperatur i Vestfjorden med og uten kjernekraftverk ved Brenntangen.

Størstedelen av året ligger temperaturøkningen nær 1°C . I desember og januar er temperaturøkningen i dypere lag av fjorden noe større ($1,2^{\circ}\text{C}$), mens temperaturøkningen i overflaten er noe lavere ($0,5^{\circ}\text{C}$).

For å anslå hvilke temperaturendringer Vestfjorden maksimalt kan få, har en i en kalkulasjon latt all avløpsvarme, med fradrag av varmetapet i Drøbaksundet, komme inn i Vestfjorden. Dette gir en temperaturøkning i fjorden på opptil $2,4^{\circ}\text{C}$. Med støtte i resultatene fra strømmålingene i Drøbaksundet er imidlertid sannsynligheten for en slik temperaturøkning vurdert som liten. Under den samme forutsetningen kan figur 13 også nyttes som et tilnærmet overslag av maksimalgrensen for temperaturøkningen ved kjølevannsutslipp fra et kjernekraftverk på 2000 MWe (dvs. et utslipp på $100\text{ m}^3/\text{s}$ oppvarmet 10°C). Sannsynligheten for en slik temperaturøkning er imidlertid vurdert som meget liten.

Temperaturøkningens statistiske konsekvens.

Temperaturene i dypvannmassene i indre Oslofjord varierer avhengig av vannmassenes oppholdstid, sjiktning, vertikale blanding, samt temperatur på innstrømmende dypvann. Det er viktig at størrelsen på temperaturvariasjonene holdes innenfor det biologiske miljøets toleransegrenser. I dyplagene kan disse grensene være snevre. BEYER (1972) har påpekt muligheten av uønskede biologiske effekter hvis temperaturen på dypvannet i indre Oslofjord overstiger 9°C . Slike temperaturnivåer er sjeldne idag. En økning av middeltemperaturen vil kunne medføre en vesentlig endring i dette forholdet, og en vil i det følgende vise hvorledes den beregnede temperaturøkning innvirker på hyppigheten av enkelte temperaturer i dyplagene. Ut fra statistisk behandling av publiserte og upubliserte målinger har en beregnet hvor hyppig (Gjentagelsesintervallet, G) temperaturen i et gitt nivå i indre Oslo-



Figur 13. Beregnet temperaturforløp i Vestfjorden, med (----) og uten (—) kjernekraftverk med utslipp på 200 m³/s ved Brenntangen.

fjord må ventes å overstige en gitt temperatur, for eksempel $9,0^{\circ}\text{C}$ når middeltemperaturen øker som figur 13 viser. Noen resultater fra disse beregningene er vist i tabell 1 og 2, hvor gjentakelsesintervallet er gitt i år. I tabellene er det også angitt en såkalt TSK (Temperaturøkningens Statistiske Konsekvens)-verdi.

Denne er definert som

$$\text{TSK} = \frac{\text{Gjentakelsesintervall for temperatur } > T \text{ uten varmetilførsel fra kjernekraftverk}}{\text{Gjentakelsesintervall for temperatur } > T \text{ med varmetilførsel fra kjernekraftverk}} = \frac{G_u}{G_m}$$

T = 9°C	D Y P					
	40 m		60 m		80 m	
MÅNED	G_m	TSK	G_m	TSK	G_m	TSK
Februar	7	> 14	> 100		10	> 10
Juli	> 100		> 100		> 100	
Oktober	3	2	37	> 3	> 100	
Desember	3	> 33	> 100		12	> 9

Tabell 1. Gjentakelsesintervall (G_m) i år og TSK-verdier for temperaturer høyere enn 9°C ved utslipp på $200 \text{ m}^3/\text{s}$ fra kjernekraftverk ved Brenntangen.

T = $8,5^{\circ}\text{C}$	D Y P					
	40 m		60 m		80 m	
MÅNED	G_m	TSK	G_m	TSK	G_m	TSK
Februar	3	12	> 100		4	8
Juli	> 100		> 100		> 100	
Oktober	2	2	11	> 9	> 100	
Desember	2	15	25	> 4	5	9

Tabell 2. Gjentakelsesintervall (G_m) i år og TSK-verdier for temperaturer høyere enn $8,5^{\circ}\text{C}$ ved utslipp på $200 \text{ m}^3/\text{s}$ fra kjernekraftverk ved Brenntangen.

Beregningene indikerer at en i tiden rundt årsskiftet i 40 m og i 80 m dyp kan vente en vesentlig økning i hyppigheten av de angitte temperaturnivåer.

Tabell 1 gir for eksempel at i oktober i 40 m vil gjentakelsesintervallet for temperaturer høyere enn 9°C med varmetilførsel fra kjernekraftverk være 3 år, det vil si at temperaturer høyere enn 9°C vil i gjennomsnitt forekomme hvert 3. år. TSK-verdien er 2, det vil si at uten varmetilførsel fra kjernekraftverk forekommer temperaturer høyere enn 9°C i gjennomsnitt hvert 6. år. Hyppigheten av disse ekstremtemperaturer har altså økt med en faktor på 2 (TSK-verdien).

7. HYDROFYSISKE VURDERINGER AV BYGGSTEDSALTERNATIVET VARDEÅSEN

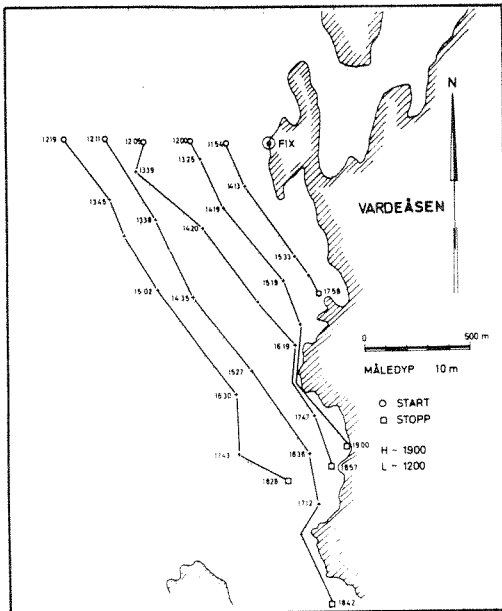
7.1. Hydrografi og strøm.

Figur 2 i punkt 3.2. viser tetthetsfordelingen ved Bastø i januar, mars, juni, august og november 1971. Utviklingen av tetthetsprofilen vil en anta er representativ også for Vardeåsenområdet.

I området er strømmålinger blitt utført på forskjellige steder nær land siden november 1971. Det er store variasjoner både i strømhastighet og -retning. Tidevannet gir en periodisk bevegelse med hastigheter opp i 25 cm/s i overflatelaget og ca. 15 cm/s i 20 m dyp. I 20 m nivået har det gjennom alle måleperioder hittil vært en sydlig rettet reststrøm. Dette kan skyldes topografiske effekter nær målerne. Strømmen i overflatelaget er sterkt påvirket av meteorologiske forhold. Strømkorsmålinger som ble utført 27.6.1972, figur 14, viser sydoverrettet transport ved stigende tidevann, det vil si mot tidevannstransporten, mens strømkors som ble utsatt dagen etter, figur 15, fulgte tidevannstransporten. Videre viser disse strømkorsmålingene en strøm som "klynger" seg mot land, enten den er rettet nordover eller sydover. De storstilte bevegelser i fjorden gir en nordoverrettet bevegelse på østsiden, men nær land forstyrres dette mønster av topografien.

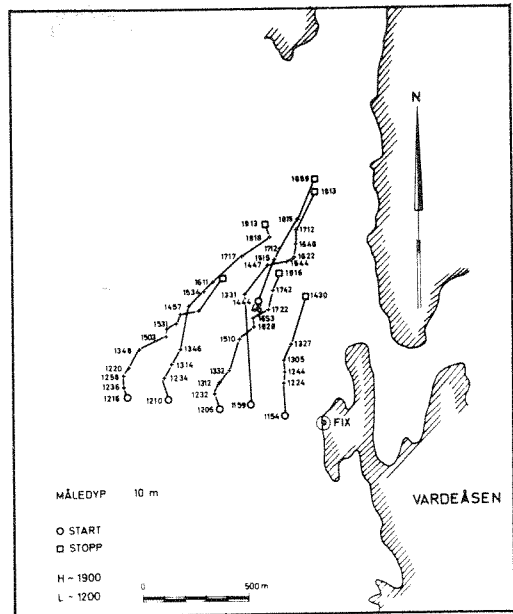
7.2. Kjølevannsutslippets forløp i nærsonen.

Det er ikke foretatt detaljberegninger av utslippets primærfortynning i området. Legger en beregningene og forutsetningene fra Brenntangenalternativet til grunn, venter en at et dyp-utslipp med dypinntak kan innlagres det meste av året. Unntatt er 2 til 3 måneder om vinteren da tetthetsgradienten i de øvre 30 m kan bli for liten for innlagring. For et kjølevanns-



Figur 14.

Strømkorsmålinger ved
Vardeåsen 27.6.1972.
H er høyvann.
L er lavvann.
Tallene angir klokke-
slett.



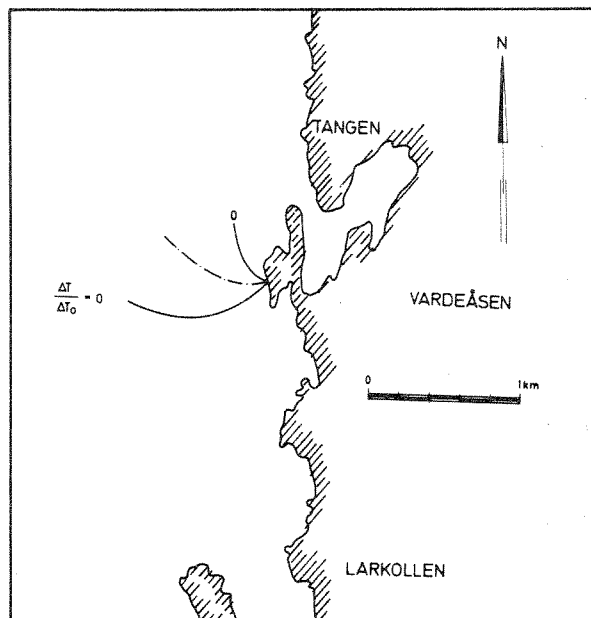
Figur 15.

Strømkorsmålinger ved
Vardeåsen 28.6.1972.
H er høyvann.
L er lavvann.
Tallene angir klokke-
slett.

arrangement med overflateinntak og dyputslipp vil en vente relativt hyppige gjennombrudd til overflaten.

For overflateinntak med overflateutslipp blir forholdene stort sett som ved Brenntangen. Figur 16 viser et beregningseksempel på horisontalutbredelsen av et $200 \text{ m}^3/\text{s}$ utslipp i $0,3 \text{ m/s}$ nordoverrettet strøm.

Strømmålingene er ikke tilstrekkelig omfattende for beregning av tilgjengelig fortynningsvannmengde. Det er imidlertid rimelig å anta at temperaturreduksjonen i nærsonen blir like



Figur 16. Beregningseksempel på horisontal utbredelse av et $200 \text{ m}^3/\text{s}$ utslipp i $0,3 \text{ m/s}$ nordoverrettet strøm. Se figur 12 for definisjon av ΔT . (Utslippets plassering er tilfeldig valgt og må ikke oppfattes som en anbefaling om hvor utslippet bør ligge.)

stor som ved Brenntangen. Utslippets midlere overtemperatur vil dermed bli redusert til minst en fjerdedel av utgangsverdien.

7.3. Kjølevannsutslippets temperaturforløp i fjernsonen.

Det ble i punkt 7.1. påpekt at en på østsiden av fjorden generelt må regne med en nordoverrettet transport. Antar en at denne transporten finner sted i fjordens østre halvdel, viser utførte beregninger at et kjølevannssjikt i overflaten vil ha

en overtemperatur på ca. 1°C ved innløpet til Drøbaksundet. Under de samme forutsetninger vil et innlagret utslipp gi en overtemperatur i overflaten på ca. $0,7^{\circ}\text{C}$.

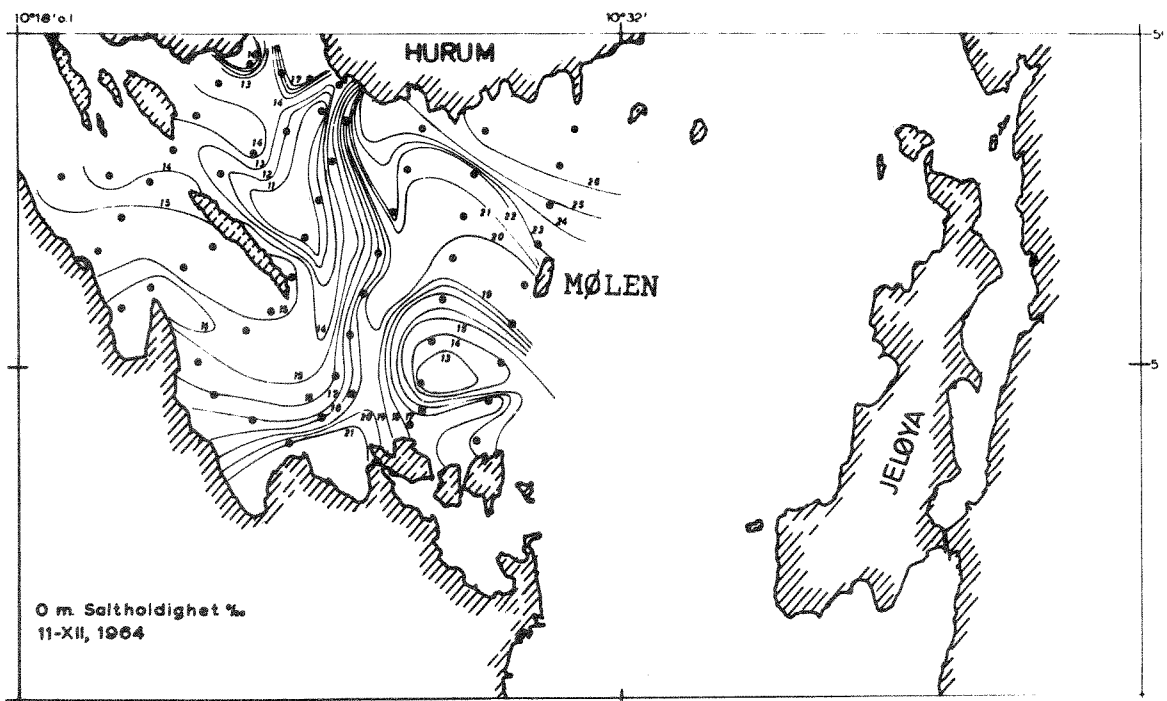
En vil påpeke at temperaturvurderingene ovenfor forutsetter en nordoverrettet transport i området av samme størrelse som den benyttet for Brenntangenalternativet. En slik forutsetning synes rimelig og har begrenset støtte i tidligere observasjoner {DAHL (1972)}. Forøvrig understrekes igjen de tidligere reservasjoner vedrørende beregningenes kvalitative karakter.

8. HYDROFYSISKE VURDERINGER AV BYGGESTEDSALTERNATIVET HURUM

8.1. Hydrografi og strøm.

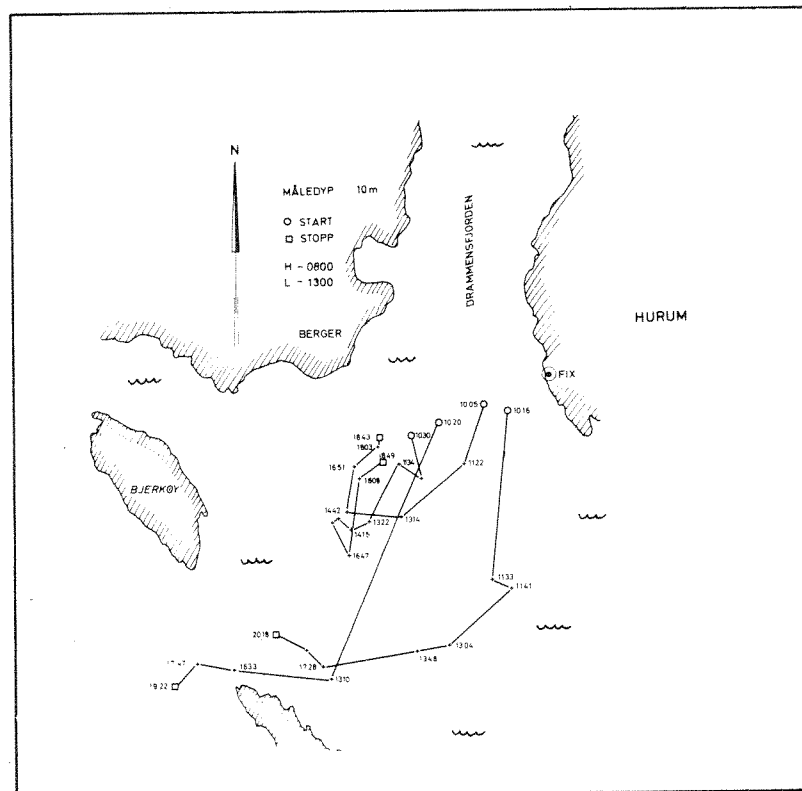
De hydrofysiske forhold i overflatelagene i Breiangen er sterkt påvirket av ferskvannstilførselen fra Drammenselven gjennom Svelviksundet. Drammenselven er regulert med en relativt stor vannføring (ca. 200 m³/s), og det er gjennom hele året et velutviklet sprangsjikt i overflatelaget nær utløpet av Drammensfjorden.

Målinger referert av GADE (1967), figur 17, viser at brakkvannstilførselen fra Drammensfjorden holder seg relativt samlet over Breiangen og ut i Oslofjorden syd for Mølen. Målinger utført



Figur 17. Overflatesaltholdighet i Breiangen 11.12.1964 {GADE (1967)}.

av VHL sommeren 1972 understøtter dette. Strømkorsmålinger vist i figur 18 tyder på at brakkvannstransporten ved stigende tidevann kan avbøyes mot vest, mot Holmestrandsfjorden og Sandebukten. De hydrofysiske målingene fra 1972 tyder også på at det kan være en midlere transport mot vest i overflatelaget (øverste 12 til 15 meter) syd for Hurum. De samme målingene indikerer en hvirvelbevegelse under dette overflatelaget nordvest for Mølen, mellom Hurumlandet og Mølen.



Figur 18. Strømkorsmålinger ved Rødtangen 11.8.1972. H - høyvann. L - lavvann. Tallene angir klokkeslett.

Som følge av ferskvannstilførselen til Drammensfjorden vil tidevannets utstrømningstid forbi Rødtangen være lengre enn innstrømningstiden. Dette er særlig merkbart over sprang-

sjiktet og er i samsvar med de utførte målinger som indikerer at bare et relativt begrenset område utenfor Rødtangen påvirkes av tidevannstransporten til Drammensfjorden.

Under den tid i vinterhalvåret dypvannsutsiftningen i Drammensfjorden pågår, viser tidligere undersøkelser {DAHL (1970)} en relativt godt lagdelt strøm mellom Rødtangen og Svelvik. I overflatelaget vil det være en midlere utoverrettet transport, mens det under sprangsjiktet vil være en innoverrettet transport.

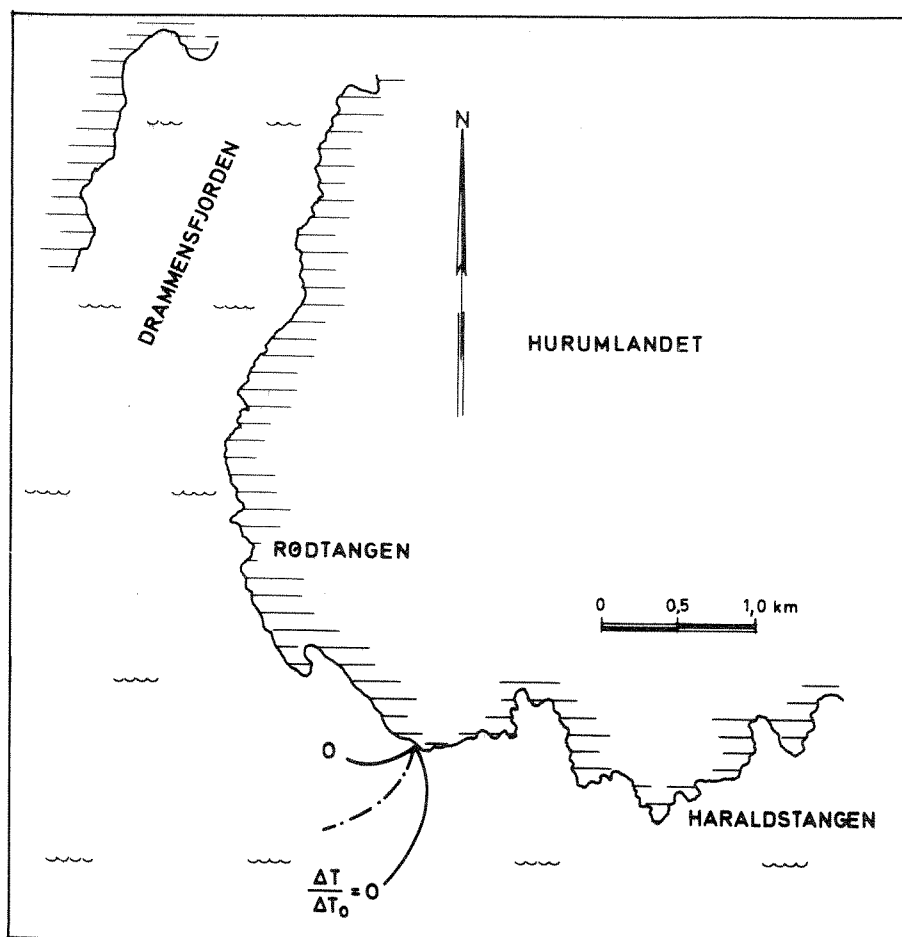
Fra Holmestrandsfjorden og Sandebukten har en ikke målinger. På grunnlag av topografien og det øvrige strømningsbilde vil en vente at oppholdstiden for vannmassene er lengre enn i den vestre del av Breiangen, og at det derfor er en viss mulighet for relativt større varmpåvirkning i dette området.

8.2. Kjølevannsutslippets forløp i nærsonen.

I vurderingene som følger støtter en seg til de tidligere kalkulasjoner og forutsetninger for byggestedsalternativet Brenntangen. Ser en først på et kjølevannsarrangement med dypinntak - dyputslipp, har en fra NIVA's undersøkelser ved Mølen (1962 - 1965) og VHL's (1972) målinger konkludert at tetthetssjiktningen i området er tilstrekkelig for innlagring av avløpsvannet det meste av året. Legges inntak i overflaten og utslipp i dypet (30 m), vil en vente gjennombrudd til overflaten deler av året, særlig i vår- og sommermånedene.

For overflateutslipp og overflateinntak, viser figur 19 et beregningseksempel på horisontalutbredelsen av et $200 \text{ m}^3/\text{s}$ utslipp i tverrstrøm (30 cm/s). Kalkulasjonene er de samme som tidligere ble benyttet for Brenntanganalternativet og er her gitt som en kvalitativ illustrasjon av nærsonenes omtrentlige omfang.

Det er rimelig å anta at resipientens kjølekapasitet ved Rødtangen er minst like god som for Brenntangen-alternativet (dvs. minst 800 m³/s tilgjengelig fortynningsvannmengde). Til støtte for antagelsen har en blant annet den relativt store utstrømningen fra Drammensfjorden. Som for de øvrige byggestedsalternativer forutsettes derfor at utslippets midlere overtemperatur i nærsonen minst reduseres til en fjerdedel av utløpsverdien, dvs. til 2,5^oC.



Figur 19. Beregningseksempel på horisontal utbredelse av et 200 m³/s utlipp i 0,3 m/s tverrstrøm. Se figur 12 for definisjon av ΔT . (Utslippets plassering er tilfeldig valgt og må ikke oppfattes som en anbefaling av hvor utslippet bør ligge.)

Da det, som tidligere nevnt, under sprangsjiktet er en transport mot Drammensfjorden mens dypvannsutskiftningen der pågår, vil innlagring av kjølevann under sprangsjiktet ikke være noen god løsning hvis temperaturpåvirkninger i Drammensfjorden ansees som lite heldig. Et utslipp som legger seg i overflaten, vil ikke gi en tilsvarende transport inn i Drammensfjorden. Som en følge av utstrømningen fra Drammensfjorden må en da vente en generell sydoverrettet transport av kjølevannet. Inngående tidevann vil kunne gi en viss transport av oppvarmet overflatevann mot Drammensfjorden. Imidlertid er det tidligere påpekt at tidevannsvolumet til Drammensfjorden påvirker et relativt lite område utenfor munningen ved Rødtangen. Et omhyggelig valgt utslippssted burde derfor kunne redusere en slik innstrømning.

8.3. Kjølevannsutslippets temperaturforløp i fjernsonen.

Utførte beregninger gir en kvalitativ vurdering av temperaturforløpet i fjernsonen. For et kjølevannssjikt i overflaten i sydoverrettet strøm indikerer beregningene at en ved Horten kan vente en overtemperatur rundt $1,5^{\circ}\text{C}$ i overflaten. Vurderingen gjelder for et $200 \text{ m}^3/\text{s}$ utslipp, og en har forutsatt at fortynningen i nærsone reduserer overtemperaturen til $2,5^{\circ}\text{C}$.

9. FELTUNDERSØKELSER I UTVALGTE OMRÅDER.

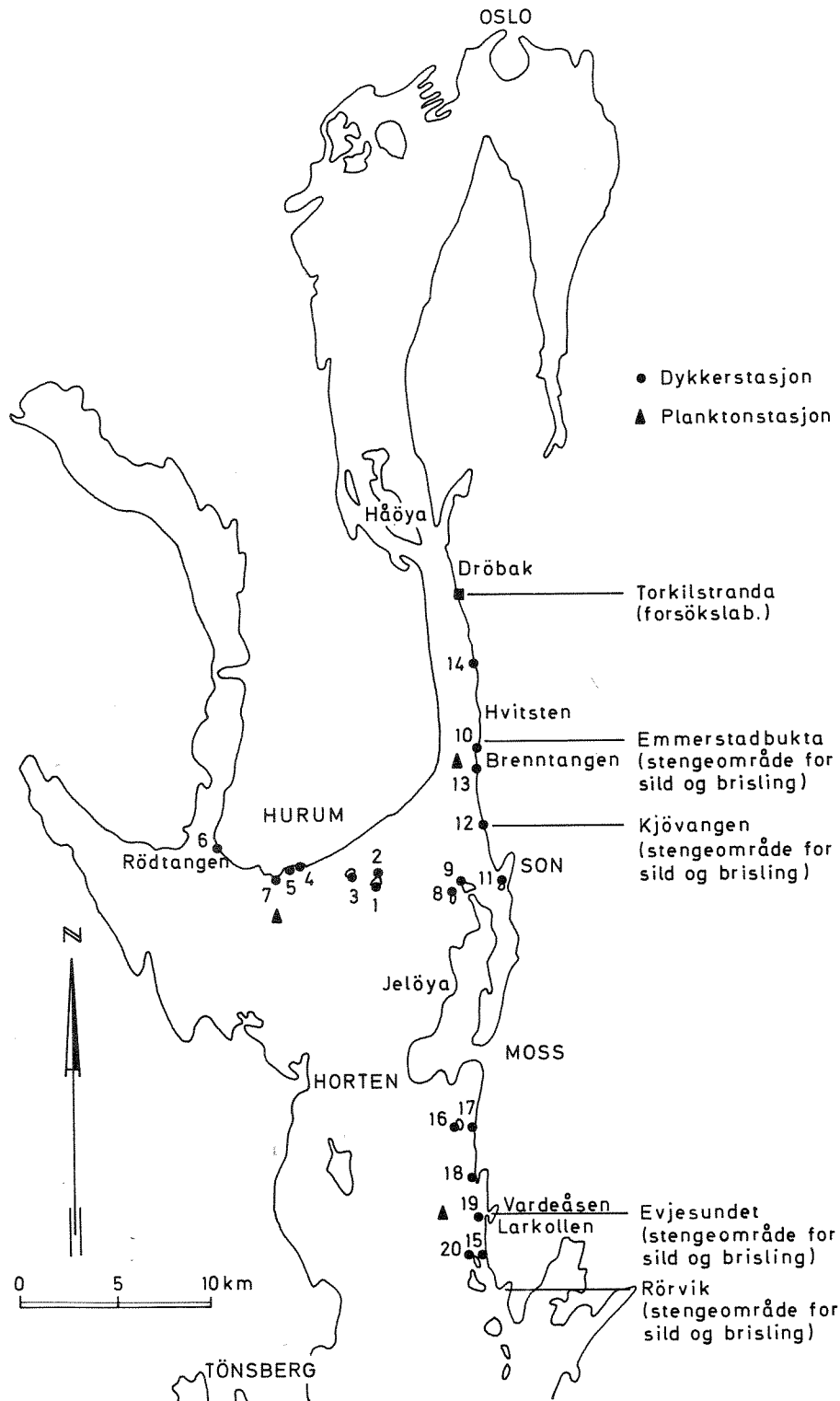
Det ble i tidsrommet 4. juli - 18. august 1972 foretatt orienterende feltundersøkelser i byggestedsområdene.

9.1. Benthiske samfunn ved Hurum, Brenntangen og Vardeåsen.

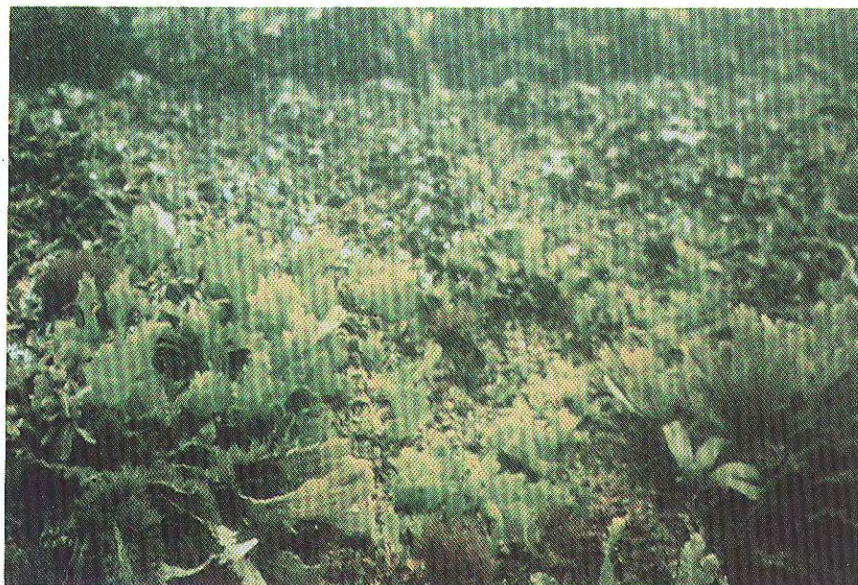
Fastsittende benthiske organismer er gode indikatorer for registrering av ytre påvirkninger. Til denne gruppen hører alle fastsittende alger og alle dyr som lever på eller i nær kontakt med bunnen, fisk unntatt. Disse organismene har liten bevegelsesmulighet og følgelig liten evne til å fjerne seg fra områder hvor de kan bli utsatt for påvirkninger. Benthiske organismesamfunn gir, i motsetning til de planktoniske eller frittlevende organismer, gode holdepunkter for å vurdere forholdene på lokalitetene og observere langtidsvirkningen av miljøforandringer.

Algesamfunnene og bunndyrene ble undersøkt ved dykking. Alle observasjoner ble direkte talt inn på bånd ved feltundersøkelsen for senere bearbeidelse. Observasjonene ble supplert med fotografier. I alt 20 stasjoner ble undersøkt, fordelt med 7 stasjoner i Hurumområdet, 7 i Brenntangenområdet og 6 i Vardeåsenområdet. Stasjonene er vist i kartskissen i figur 20.

De artene som ble registrert, er de som man måtte vente å finne i denne delen av fjorden. Det er også stort sett de samme artene som forekommer i alle områdene. Et unntak er blant annet grønnalgen *Ulva lactuca*, figur 21. Dette er en alge som trives best i områder med stor tilførsel av næringsalter. I Hurumområdet forekom denne algen bare på en stasjon (stasjon 3) og da bare i noen få, spredte eksemplarer. Ved Vardeåsen ble den registrert på stasjonene 17, 19 og 20, mens den i Brenntangenområdet ble registrert på samtlige stasjoner, bortsett fra stasjon 9, og i relativt store mengder.



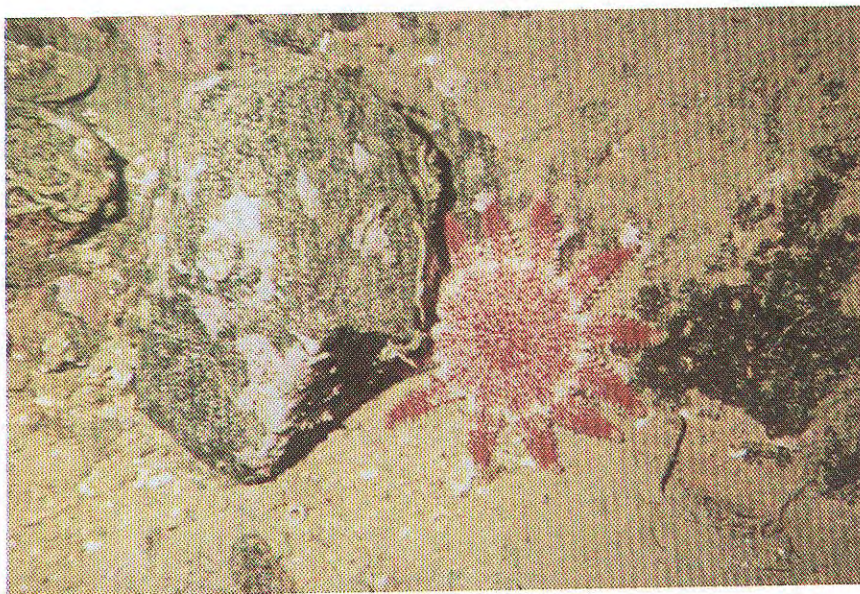
Figur 20. Stasjonsnett for undersøkelse av den benthiske flora og fauna i Hurumområdet (1 - 7), Brenntangenområdet (8 - 14) og Vardeåsenområdet (15 - 20).



Figur 21. Den nitrogenelskende grønnalgen *Ulva lactuca*, stasjon 10 i Brenntangenområdet. Dyp: 0,5 - 1 m.

Bunnen i Vardeåsenområdet er nær land preget av mye detritus (mudderavleiringer), se figur 22. Dette kan indikere at vannmassene langs land er relativt rolige og gir gode sedimenteringsmuligheter. Et unntak herfra var Larkollensundet (stasjon 15) hvor strømmen var sterk.

Figurene 23 og 24 viser typiske bunnforhold med organisme-samfunn fra den midtre delen av fjorden med stor forekomst av muslingskall og døde kråkeboller. Figur 25 viser bunnen på 3 meters dyp i den forurensningsbelastede Sonsbukta. Artsantallet på denne stasjonen (stasjon 11) var meget lavere enn for noen annen sammenlignbar stasjon.



Figur 22. Typisk lokalitet i Larkollenområdet med bunnen dekket av grå detritus. I sentrum en solstjerne, *Crossaster papposus*. Dyp: 3 meter.



Figur 23. Situasjonsbilde fra stasjon 9 i Brenntangenområdet, med slangestjernen *Ophiura albida*, sjøstjernen *Asterias rubens* og døde kråkeboller. Dyp: 7 meter.



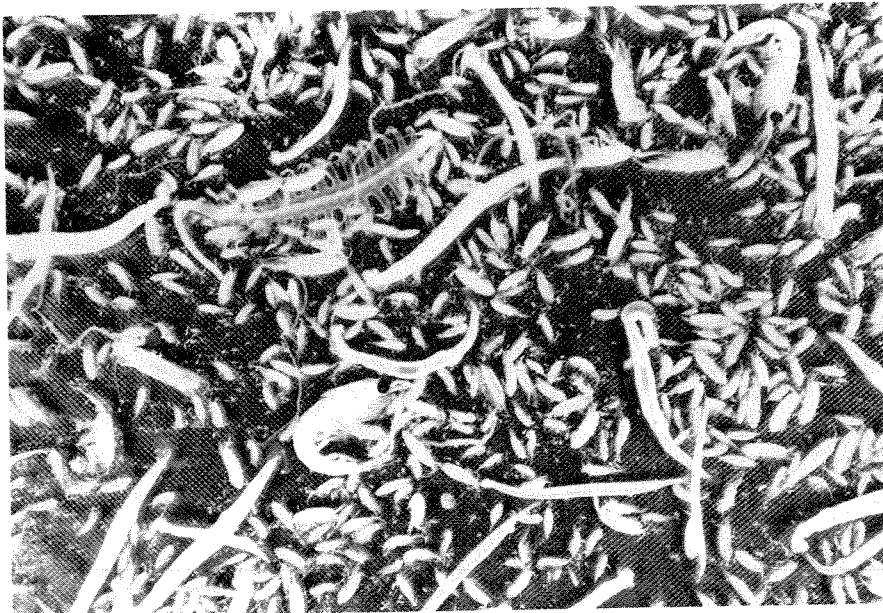
Figur 24. Situasjonssbilde fra stasjon 3 i Hurumområdet med slangestjernen *Ophiura albida* og døde muslinger. Dyp: 13 meter.



Figur 25. Situasjonssbilde fra den forurensede Sonsbukta, stasjon 11. Dyp: 3 meter.

9.2. Planktonundersøkelser.

Samlebetegnelsen plankton brukes på organismer, både planter og dyr, som "svever" i de frie vannmassene. Deres egenbevegelse er så dårlig at de ikke er uavhengig av strømmen. Den alt overveiende del av planktonorganismene er svært små, mange kan bare sees i mikroskop. De aller fleste store, systematiske gruppene av dyr har representanter i plankton; fra encellede flagellater til fiskelarver, og man finner også flere hovedgrupper av alger, se figur 26. Planktonsamfunnene har en meget sentral plass i det marinbiologiske system. Planteplanktonet utfører den overveiende del av primærproduksjonen i havet. Ved sin tallrikdom og vide utbredelse og ved at generasjonene avløser hverandre meget raskere enn hos de fleste andre assimilerende plantegrupper, har de avgjørende betydning for produksjon av organisk stoff og derved for dyrelivet i havet. Dyreplanktonet er bindeleddet mellom denne produksjonen og de høyere ledd i næringskjedene, som fisk, hval, bunnvertebrater osv.



Figur 26. Eksempel på sammensetning av dyreplanktonsamfunn.

Det ble under feltarbeidet tatt prøver både av planteplanktonet og dyreplanktonet. I hvert byggestedsområde ble det i løpet av 24 timer tatt en serie á 4 dyreplanktonprøver i forskjellige dyp. Planteplankton ble samlet inn én gang i denne tiden. Planktonforekomster varierer normalt meget med tiden og denne tidsbegrensede undersøkelsen ga derfor ikke grunnlag for å skille mellom de tre områdene Hurum, Brenntangen og Vardeåsen med hensyn til planktonets sammensetning og mengde. Figur 26 gir eksempel på dyreplanktonprøve samlet inn ved denne undersøkelsen.

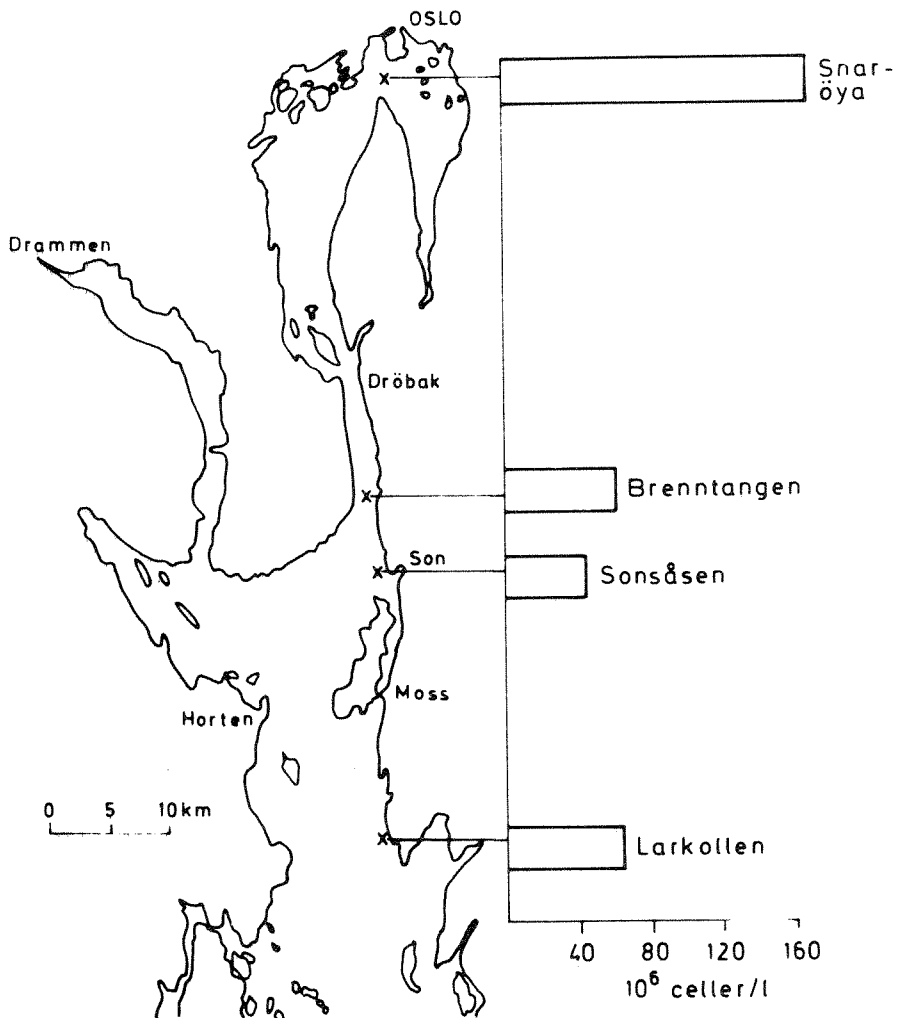
9.3. Undersøkelser av eutrofigrad.

For å undersøke vannmassenes eutrofigrad, ble det en gang hver måned tatt vannprøver fra 1 meters dyp. Av prøvene ble 4 liter filtrert og brukt til vekstforsøk med alger for å vurdere vannets innhold av vekstnæringsstoffer. Vannprøvene ble podet med encellede testalger og tilveksten målt. Ved forsøkene ble temperatur (20°C) og lys (6000 lux) holdt konstant. Tabell 3 viser forsøksresultatene.

Dato \ Stasjon	13/6	5/7	22/8	13/9	16/10
	celler 10 ⁶ /l	celler 10 ⁶ /l	celler 10 ⁶ /l	celler 10 ⁶ /l	celler 10 ⁶ /l
Larkollen	8,0	48,6	17,6	63,1	56
Sonsåsen	42,6	27,4	27,3	83,0	53
Brenntangen	90,5	19,6	72,1	59,0	122
Snarøya	440	128	30,6	63,4	
Hurum			20,6		31

Tabell 3. Celleutbytte ved vekstforsøk. Testalge: *Phaeodactylum tricornutum*

Det er tidligere {SKULBERG (1970)} påvist en gradient i eutrofigrad fra ytre fjord mot indre fjord. Resultatene i 1972 viste ingen klar tendens i variasjonene under perioden juni - oktober for stasjonene Larkollen, Sonåsen, Brenntangen og Snarøya. Middelerdiene for celleutbytte på de forskjellige stasjonene er beregnet for perioden juni - september, se figur 27.



Figur 27. Middelerdier av celleutbytte ved vekstforsøk i perioden juni-september 1972. Testalge: *Phaeodactylum tricornerutum*.

Forskjellen mellom stasjonene Larkollen, Sonåsen og Brenntangen er ikke signifikant, men Snarøya har en klart høyere middelerdi. Fra Hurum finnes bare to observasjoner, men celleutbyttet var ved disse to tilfeller lavere enn for Larkollen, Sonsåsen og Brenntangen.

Vekstforsøkene viser at overflatevannet om sommeren har et ensartet innhold av næringsstoffer. Dette skyldes den produksjonen som da foregår i fjorden. Produksjonen er ikke høy nok til helt å tømme vannet for næringsstoffer, og vekstforsøk gir derfor utslag på alle stasjonene. Endringer av fysiske faktorer vil kunne resultere i en økt algeutvikling. Det foreligger et kjemisk grunnlag for en slik produksjon.

I tillegg til vekstforsøkene ble det gjort forsøk med diatomeen *Skeletonema costatum* hvor ulike næringsstoffer ble tilsett. Forsøkene viste at fosfor og nitrogen er de viktigste begrensende næringsstoffene i fjorden. De kjemiske analysene viste det samme. Forholdet mellom tilgjengelige fosfor- og nitrogenforbindelser bestemmer hvilket av de to stoffene som er vekstbegrensende. I juni var fosfor begrensende, men senere ble nitrogen stadig viktigere som begrensende faktor. I oktober var nitrogen begrensende på tre av fire undersøkte stasjoner, tabell 4.

Stasjon	Måned					
	juni	juli	august	september	oktober	
Larkollen		P+N	P	P + N	P + N	
Sonåsen	P	P+N	P+N+Fe	P + N	N	
Brenntangen	P		P+N+Fe	P + N	N	
Hurum			P		N	
Snarøya	P	N	P + N			

Tabell 4. Begrensende næringsstoffer.

Dypvannet i Oslofjorden har om sommeren et høyere innhold av plantenæringsstoffer enn overflatevannet. En eventuell transport av dypvann til overflaten vil da kunne fremme eutrofiering av fjorden.

10. OPPLYSNINGER OM FISKET I OSLOFJORDEN.

Opplysningene om fisket i Oslofjorden er i overveiende grad innhentet fra Oslofjordens fiskerlag. Fisket i Oslofjorden representerer en årlig førstehåndsverdi på ca. kr. 20 mill. Av dette utgjør rekefisket ca. 8 mill, brisling ca. 4 mill, sild ca. 2,5 mill, "fisk" ca. 4 mill og ål ca. 1,5 mill kroner. Tallene gjelder for 1971 og 1972. "Fisk" i denne forbindelse er torskefisk (torsk, hyse, lyr, sei, hvitting). I tillegg til yrkesfisket kommer den verdi sports- og hjemmefiske har.

Rekefisket.

I områdene fra Tjøme langs vestsiden av fjorden til Oslo og sydover igjen langs østsiden av fjorden til Son drifter idag ca. 30 båter. Området fra Son til og med Onsøy har ca. 15 båter. I tillegg kommer Hvalerområdet med ca. 45 båter. Det er vanligvis to mann på hver båt, slik at samlet deltakelse i rekefisket for tiden utgjør ca. 95 båter og 190 mann. Reken er en dypvannsart, og utslipp av kjølevann vil neppe påvirke bestanden direkte. Unntatt er rekefeltene i indre fjord. Innstrømning av kjølevann over Drøbakterskelen og utskiftning av dyplagene vil føre til en temperaturøkning (se punkt 6.5). Reken er en kaldtvannsart og temperaturer høyere enn for eksempel 9°C {BEYER (1972)} kan være uheldig for bestanden.

Reken er en organisme som vil inngå i undersøkelsene for kontroll av radioaktivt utslipp.

Sild- og brislingfisket.

I Oslofjorden drifter idag 20 - 25 lag fra Oslofjordområdet etter såvel sild som brisling. I de senere år har det deltatt 20 - 25 lag fra Vestlandet i brislingfisket. Båtene

fra Oslofjorden har vanligvis fire manns besetning, mens båtene fra Vestlandet overveiende har fem mann ombord. Fisket etter sild og brisling karakteriseres ved at det er påkrevd med stengeområder for fangsten. I Oslofjorden er det fire viktige stengeplasser, Emmerstadbukta og Kjøvangen i Son/Brenntangenområdet og Evjesundet og Rørvik i Vardeåsenområdet (se figur 20). I Emmerstadbukta og Kjøvangen lagres så godt som all fangst fra Hurum/Drøbakområdet. Det er vanskelig å finne erstatningsområder dersom de nåværende områdene skulle bli ødelagt. Områdene kan tenkes å bli gjort ubrukelige som stengeplasser ved såvel mekanisk som termisk påvirkning. En permanent mekanisk påvirkning kan tenkes påført ved kraftverkets mulige behov for havn og kaianlegg. Mer temporært kan områdene bli gjort ubrukelige i anleggstiden mens store sprengningsarbeider pågår i eller ved sjøen.

En temperaturøkning i stengeområdene er uheldig fordi fangsten står i et avgrenset område med dårlig vannutskiftning og oksygentilgang. Temperaturøkningen vil føre til økt aktivitet og omsetningshastighet; noe som igjen vil føre til økt oksygenforbruk.

"Fisk"

Dette omfatter torskefiskene torsk, lyr, sei, hvitting og hyse. En stor del av de fangstene som omfattes av statistikken, ilandbringes av reketralerne i den perioden av året hvor fisket etter reke foregår med konvensjonell redskap, og det følgelig tas mye fisk. Antallet av enefiskere som driver med bl.a. snurrevad, ruser med mere, har vært sterkt synkende den senere tid. Dette fisket må derfor mer betraktes som et suppleringsfiske til ålefiske, hummerfiske eller annet arbeid på land.

En termisk påvirkning av fjorden kan tenkes å få følger for blant annet torskbestandene. Torsken er en kaldtvannsart som trekker ned i dypet når temperaturen blir for høy. Økt temperatur som følge av kjølevannsutslipp kan tenkes å få en negativ virkning.

Ålefisket

Dette fisket har i de senere år gitt bra utbytte og er i stadig ekspansjon. Det er et enmannsfiske som drives som hovedfiske såvel som biyrkesfiske. Det er lite sannsynlig at en temperaturøkning vil påvirke ålefisket i negativ retning.

Laks og sjøaure

Disse fiskeartene har det felles at de går opp i elvene for å gyte. Det er til dels motstridende opplysninger om hvorvidt en termisk påvirkning vil hindre eller hemme gytevandringene eller ikke. Nyere undersøkelser i U.S.A. tyder imidlertid på at verken laks eller sjøaure lar seg influere av termiske barrierer når de skal opp i elvene for å gyte. Derimot kan det tenkes at smolt (småfisk) på vei ut, kan bli påvirket, i første rekke mekanisk ved at de blir sugd med inn i kjølevannssystemet.

Agua-kultur

Det foreligger muligheter til å nyttiggjøre en mindre del av avløpsvarmen fra kjernekraftverk til kultivering av egnede arter. Resultater av såvel praktiske som forskningsmessige undersøkelser viser dette.

11. INNLEDENDE BIOLOGISKE EKSPERIMENTER.

11.1. Temperatures innvirkning på vekst av planteplankton fra Oslofjorden.

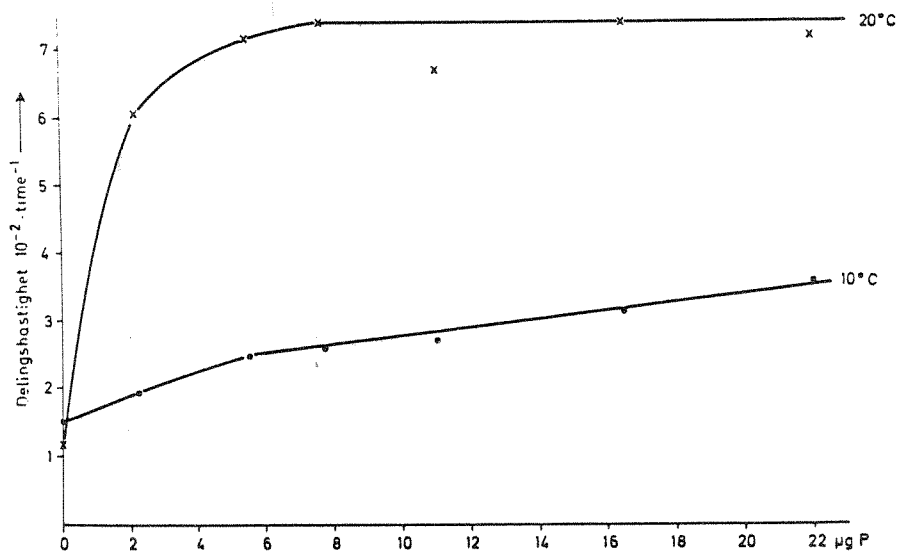
Det er i løpet av 1972 utført tre undersøkelser over vekst av planteplankton. To av disse undersøkelsene behandler temperaturens innflytelse på veksten, mens den tredje undersøkelsen omhandler både temperaturens og næringsstoffenes betydning. En beskrivelse av disse forsøkene er gitt i NIVA-rapport av 1.1.1973. De foreløpige resultatene fra de to førstnevnte forsøkene viser at veksten av planteplankton tiltar med økende temperatur, figur 28.



Figur 28. Vekst av kiselalgen *Skeletonema costatum* ved 20°C, 10°C og 3°C.

I det tredje forsøket ble algen *Phaeodactylum tricornutum* dyrket ved 10^o og 20^oC og med varierende fosformengder. Øvrige næringsstoffer forelå i overskudd. Figur 29 viser resultatene fra forsøket.

Ved temperaturen 10^oC økte veksthastigheten i hele intervallet 0-22 µg fosfor. Veksten uten fosfortilsetning skyldes algens opplagring i cellene. Dette nyttes til vekst når fosforinnholdet i vannet blir for lavt. Ved temperaturen 20^oC økte veksthastigheten ved tilsetning av fosfor bare i intervallet 0-5,5 µg fosfor. Ved ytterligere økning av fosforkonsentrasjonen, var veksthastigheten konstant med en fordoblingstid på omtrent 14 timer.



Figur 29. Resultat av vekstforsøk med *Phaeodactylum tricornutum* ved ulike fosformengder og ulike temperaturer (10^oC og 20^oC).

Under betingelsene algene ble dyrket ved, vil altså en endring av temperaturen fra 10° til 20°C ha større effekt på veksthas-tigheten for *Phaeodactylum tricornutum* enn en økning av fos-forkonsentrasjonen fra 2,2 til 22 $\mu\text{g/l}$.

11.2. Forsøk med organismesamfunn under eksperimentelle be-tingelser.

Det er utført innledende forsøk med organismesamfunn under ulike temperaturbetingelser. En nærmere beskrivelse av for-søket er gitt i NIVA-rapport av 1.1.1973. Sjøvann fra 1 meters dyp ble pumpet inn i forsøksoppstillingen hvor den ble ledet gjennom 10 meter lange renner, figur 30. En renne inneholdt sjøvann av samme temperatur som fjorden, (renne 1), to andre inneholdt sjøvann som var varmet opp henholdsvis 5°C (renne 3) og 10°C (renne 2).

Forsøket viste (se figur 30 og tabell 5) at når temperaturen økte i vannmassene, førte dette til både kvalitative og kvan-titative forandringer i begroingsamfunnene. Når temperaturen ble for høy, stagnerte veksten. I renne 3 dominerte den varmekjære grønnalgeslekten *Enteromorpha* fullstendig, mens den relativt sjeldne brunalgen *Giffordia sandriana* dominerte i renne 1. Videre var det større forekomster av blågrønn-alger i renne 3 enn i renne 1.

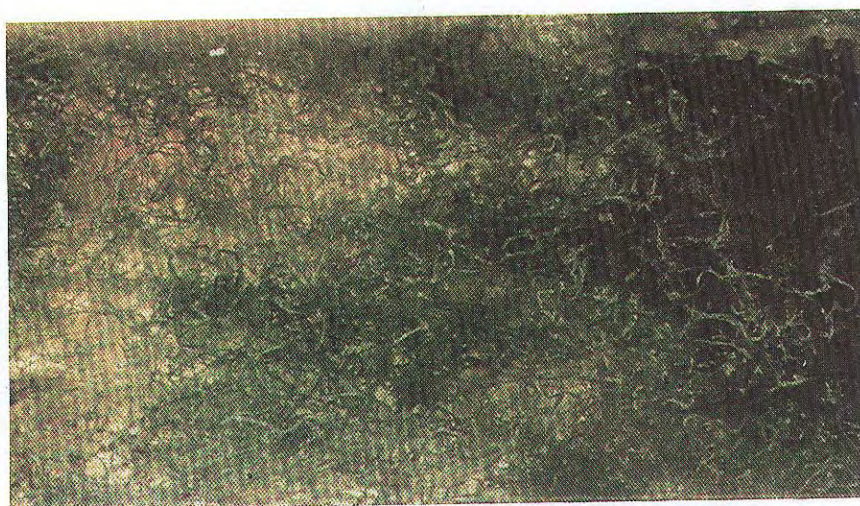
Renne	Temperatur $^{\circ}\text{C}$	Tørrvekt av org. stoff. Gram/renne
1	t_0	40
3	$t_0 + 5^{\circ}\text{C}$	93
2	$t_0 + 10^{\circ}\text{C}$	19

Tabell 5. Begroing ved renneforsøk.

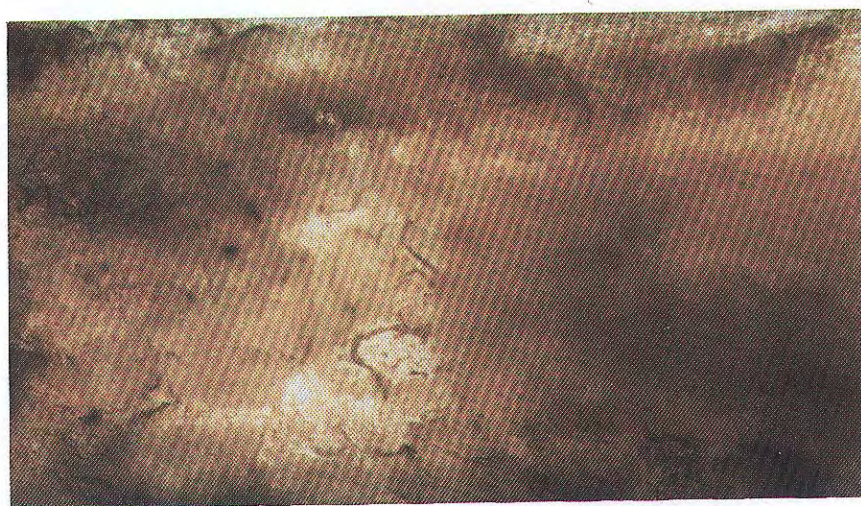
Resultatene av disse innledende forsøkene indikerer at man må forvente at vegetasjonen i strandområdene vil kunne bli forandret både kvalitativt og kvantitativt dersom tempera-turen i vannmassene økes.



Renne 2
Temperatur:
 $t_0 + 10^{\circ}\text{C}$



Renne 3
Temperatur:
 $t_0 + 5^{\circ}\text{C}$



Renne 1
Temperatur:
 t_0

Figur 30. Organismesamfunn utviklet under eksperimentelle betingelser med ulike sjøvannstemperaturer.

12. SAMMENFATNING.

Det er i det foregående behandlet hvorledes et kjølevannsutslipp fra kjernekraftverk vil kunne påvirke enkelte hydrofysiske og biologiske forhold.

I det følgende gis først en kort gjennomgåelse av enkelte generelle konsekvenser et kjølevannsutslipp til Oslofjorden kan få for biologiske forhold. Deretter følger en sammenfatning av resipient- og utslippsforholdene i de tre byggestedsområdene. Til slutt oppsummeres de vesentligste hydrofysiske og biologiske momentene som konklusjonene bygger på.

Temperaturen virker på fysiologiske prosesser, og en temperaturøkning innenfor visse grenser fører i alminnelighet til større omsetningshastigheter. Temperaturen har innflytelse på artenes utbredelse og vil påvirke alle stadier av livssyklus til en art. Utryddelse av arter kan tenkes. Dette er særlig sannsynlig hvis avløpsvarme skulle bli tilført dyplagene der deler av faunaen er lite temperaturtolerante. Det er også mulig at eventuelle nye temperaturforhold kan bli slik at arter som tidligere ikke kunne ha fast bestand i området, nå får mulighet til dette. De nyinnvandrede artene må imidlertid i tillegg til gunstig temperatur kunne finne forhold som samsvarer med deres øvrige livskrav. Mer sannsynlig enn utryddelse og nyinnvandring er forskyvninger mellom arter som allerede finnes i fjorden. Noen arter kan bli hemmet, mens andre kan bli stimulert av endrede forhold.

Forsøk med organismesamfunn fra Oslofjorden har vist (se punkt 11.2) at overtemperatur fører til både kvalitative og kvantitative forandringer. I fjorden kan for eksempel en temperaturøkning dermed få som konsekvens at begroingen i strandområdene endres.

Kjølevannsutslippets virkninger i resipienten vil være avhengig av utslippets størrelse og resipientens egenskaper.

De biologiske forholdene i Oslofjorden er spesielle med reduksjon i artsantallet i forhold til områdene utenfor. Mange av de gjenværende artene lever under betingelser som avviker fra de optimale når det gjelder saltholdighet. Samtidig er de utsatt for forurensningspåvirkninger. Dette kan redusere temperaturtoleransen. Det kan ventes en økt organisk produksjon etter moderat økte temperaturer. En slik produksjonsøkning er ikke uten videre ugunstig, men Oslofjordområdet har allerede en stor organisk produksjon. Eutrofiering er et hovedproblem ved forurensning av indre fjord. Inne i fjorden må man altså regne med at den økte produksjonen vil virke i ugunstig retning. Utenfor, ved en åpen kyst, vil den eventuelt kunne ha en gunstig virkning vurdert i denne sammenheng.

Utslippets og inntakets plassering vil også være av betydning for vurdering av mulige konsekvenser for biologiske forhold. (Se punktene 4.1, 5.4 og 5.6) De hydrofysiske beregningene viser at dykkede utslipp generelt gir den raskeste fortykning av avløpsvannet i nærsonen. Videre antyder beregningene at et utslipp i overflaten totalt sett må ventes å påvirke mindre vannvolumer enn dykkede, innlagrede utslipp. Hvilket utslippsalternativ som bør velges vil eventuelt bli gjenstand for senere vurderinger.

Brenntangen er det byggestedsområdet som ligger lengst fra åpne kystfarvann og nærmest de mest forurensningsbelastede områdene inne i Oslofjorden.

De hydrofysiske forhold i Drøbakundet medfører at kjølevannsutslipp med dypinntak og dyputslipp vil kunne innlagres under sprangsjiktet det meste av året. For andre kombinasjoner av inntak og utslipp vil kjølevannet enten innlagres over sprangsjiktet eller spres i overflaten. Ved overflateutslipp må en vente at nærsonens horisontale utbredelse blir større enn ved dykket utslipp. Kjølevannets overtemperatur i nærsonen for en utslippsmengde på 200 m³/s vil reduseres fra 10°C til omlag 2,5°C.

Beregningene for fjernsonen antyder at en i sommerhalvåret ved strøm nordover vil ha en maksimal overtemperatur ved Drøbak på omlag 2°C når utslippsmengden er $200\text{ m}^3/\text{s}$. En mindre utslippsmengde vil resultere i en vesentlig raskere temperaturreduksjon i fjernsonen. I vinterhalvåret vil de maksimale overtemperaturer synke raskere enn i sommerhalvåret.

Strømmålinger har vist at det på østsiden av Drøbaksundet er en nordoverrettet reststrøm under varierende hydrografiske forhold, og at en vesentlig del av vannmassene som passerer nordover forbi Brenntangen, vil gå over Drøbakterskelen og inn i indre Oslofjord. Med et kjølevannsutslipp på $200\text{ m}^3/\text{s}$ har en under gitte forutsetninger og antagelser beregnet at dette vil medføre en midlere temperaturøkning på omlag 1°C i Vestfjorden. En slik økning av middeltemperaturen vil medføre at ekstreme temperaturer høyere enn 9°C , vil forekomme hyppigere i dyplagene enn de gjør idag, særlig rundt årsskiftet. (Se TSK-verdiene i tabell 1 og 2.) På det foreliggende grunnlag har en ikke kunnet skille mellom de fire inntaks- og utslippskombinasjonene (se punkt 4.1) med hensyn på utslippets temperatureffekt på Vestfjorden ($200\text{ m}^3/\text{s}$).

Dypvannsfaunaen i indre fjord er spesielt utsatt. Den er særlig temperaturømfintlig; temperaturer høyere enn 9°C antas å være svært uheldig for en rekke kaldevannarter, for eksempel dypvannsreker.

Indre Oslofjord er forurensningsbelastet og eutrofiering gjør seg sterkt gjeldende. Forurensningen i indre Oslofjord skyldes kloakkvannets innhold av plantenæringsstoffer. En temperaturpåvirkning i dette området vil motvirke de renses tekniske tiltak (fjerning av næringssalter og organisk stoff) som en idag setter i verk for å beskytte vannforekomstene mot en slik utvikling. Å kvantifisere den beregnede temperatur-

øknings virkninger på fjordens eutrofigrad er på det nåværende tidspunkt ikke mulig.

Videre vil et kjernekraftverk i Brenntangenområdet innvirke på sild- og brislingfisket dersom Emmerstadbukta og Kjøvungen ikke lenger kan benyttes som stengeområder.

Vardeåsen: På grunnlag av det foreliggende hydrofysiske materiale venter en at dersom inntak og utslipp legges til samme dyp (30 m), vil kjølevannet innlagres det meste av året. Unntatt er et par måneder om vinteren, da tetthetsgradienten i de øverste 30 m kan bli for liten. Legges inntaket i overflaten og utslippet i dypet (30 m), venter en derimot relativt hyppig gjennombrudd til overflaten.

En har vurdert resipientkapasiteten i utslippsområdet til å være tilstrekkelig til at overtemperaturen i nærsone minst kan reduseres til $2,5^{\circ}\text{C}$. Beregningene for fjernsone antyder at et kjølevannssjikt i overflaten ved nordoverrettet transport vil kunne ha en overtemperatur i overflaten på omlag 1°C ved innløpet til Drøbakundet. En har da forutsatt en utslippsmengde på $200 \text{ m}^3/\text{s}$.

Strøm- og transportmålinger viser at strømforholdene varierer både i hastighet og retning. Imidlertid indikerer målingene en strøm som "klynger" seg mot land, enten den er rettet nordover eller sydover. Dersom denne tendensen er karakteristisk for området, kan forholdsvis store strandområder bli temperaturpåvirket. Topografi og bunnforhold både nord og syd for Vardeåsen gjør at en venter forlenget oppholdstid av kjølevannet i henholdsvis Verlebukten ved Moss og i det grunnne fjordområdet syd for Vardeåsen, ved vedvarende nordlig eller sydlig strøm.

De feltbiologiske undersøkelserne indikerer sterkere eutrofiering her enn ved Hurum. Forholdsvise store gruntvannsområder kan bli påvirket av kjølevannsutslipp. Dersom Evjesundet ikke lenger kan benyttes til stengeområde for sild og brisling, vil det få følger for dette fisket.

Hurum: De hydrofysiske forhold i Hurum (Rødtangen)-området er sterkt påvirket av ferskvannstilførselen fra Drammensvassdraget. Denne resulterer blant annet i en kraftig lagdeling i overflatelaget. For et utslipp med dypinntak - dyputslipp er tetthetssjiktningen tilstrekkelig for innlagring av kjølevannet det meste av året, mens en for et utslipp med overflateinntak - dyputslipp venter gjennomtrenging av kjølevann til overflaten deler av året. Resipientkapasiteten i utslippsområdet er vurdert tilstrekkelig til at overtemperaturen i nærheten minst blir redusert til $2,5^{\circ}\text{C}$.

Ved innlagring av kjølevann under sprangsjiktet i området ved Rødtangen kan oppvarmet vann transporteres gjennom Svelviksundet og inn i Drammensfjorden. Ved inntak og utslipp i overflaten kan man få en relativt rask transport av kjølevannet sydover, ut av Breiangen, ved å blande det inn i brakkvannstransporten fra Drammensfjorden. I dette tilfellet antyder beregningene for en utslippsmengde på $200 \text{ m}^3/\text{s}$ en overtemperatur på omlag $1,5^{\circ}\text{C}$ i overflaten ved Horten. En venter noe lengre oppholdstid av kjølevann i Sandebukten og Holmestrandsfjorden enn i Breiangen.

Et kjølevannsanlegg ved Rødtangen vil sannsynligvis ikke ha særlig virkning på vandringen til gyteferdig laks opp mot Drammenselven. Imidlertid er det mulig at lakseyngel kan bli trukket inn i kjølevannsinntaket og ødelagt når den vandrer ut fra Drammenselven.

Følgende hydrofysiske og biologiske momenter har vært av betydning ved vurderingene:

Momenter	Byggestedsalternativer		
	Brenntangen	Vardeåsen	Hurum
*) Innlagrings- og for- tynningsforhold	O m l a g l i k e v e r d i g e		
Gjennomsnittlige tran- sportforhold i bygge- stedsområdene.	Dominerende nord- overrettet trans- port i den østlige del av Drøbaksun- det.	Ustabile strømfor- hold nær land. De storstilte bevegel- ser i fjordens øst- lige del antas å være nordoverrettet.	Sydoverrettet strøm ventes å dominere i over- flatelaget.
Dypvannspåvirkning	Stor sannsynlig- het for ugunstig påvirkning av faunaen i indre fjord.	Lite sannsynlig	Lite sannsynlig ved overflate- utslipp
Påvirkning av grunt- vannsområder	Lite sannsynlig	Sannsynlig	Lite sannsynlig
Påvirkning på fisket	To stengeområder for sild og bris- ling kan bli uhel- dig påvirket. Re- kebestanden i in- dre fjord kan bli uheldig påvirket.	Ett stengeområde for sild og bris- ling kan bli uhel- dig påvirket.	Smålaks på vei ut kan bli uheldig påvirket.
Eventuell forsterket forurensningsvirkning.	Mest ugunstig	Minst ugunstig	Minst ugunstig

*) Det understrekes at omfanget av observasjonsmaterialet er forskjellig for de enkelte byggestedsområder.

Denne tabellariske oppsummering av byggestedsområdenes resi-
pientforhold gir nødvendigvis bare en skjematisk fremstil-
ling av vurderingsgrunnlaget. Det understrekes derfor at
tabellen kun må sees i sammenheng med kapitlets øvrige innhold.

13. KONKLUSJON.

For de hydrofysiske vurderinger er omfanget av observasjonsmaterialet forskjellig for de enkelte byggestedsområder. Fra Brenntangenområdet foreligger det et relativt omfattende observasjonsmateriale, mens det fra Vardeåsen- og Hurumområdene er svært begrenset datamateriale. For de to siste områdene er derfor vurderingen tildels skjønnsmessig. Det understrekes at vurderingene forutsetter midlere tilstander i det hydrofysiske miljø. Beregningsresultatene må vurderes i lys av de forutsetninger og antagelser som har vært nødvendige for gjennomføring av analysen. De enkelte konklusjoner må derfor sees i sammenheng med de reservasjoner som er gitt der hvor de forskjellige byggestedsområder eller spesielle emner er behandlet.

De biologiske undersøkelser som hittil er gjennomført er av innledende karakter, og flere forhold som er viktige for å bedømme virkningen av kjølevannsutslipp, er ennå ufullstendig kjent. En har derfor tatt som utgangspunkt i totalvurderingene at miljøpåvirkningene bør bli så små som mulig. Ut fra dette og i samsvar med tidligere og foreliggende biologiske vurderinger vil de enkelte byggestedsalternativer bli karakterisert som mer eller mindre ugunstige.

Brenntangen: En har vurdert innlagrings- og fortynningsmulighetene for utslippet som relativt gode. Imidlertid har en funnet at avløpsvarmen fra et fullt utbygget kjernekraftverk sannsynligvis vil resultere i en midlere temperaturstigning på omlag 1°C i indre Oslofjord (Vestfjorden). Rundt årsskiftet gir dette en vesentlig økning i hyppigheten (TSK-verdien) av ekstremtemperaturer (for eksempel 9°C) i fjordens dyplag. Dette kan få uheldige følger for dypvannsfaunaen, for eksempel rekeforekomstene. Indre Oslofjord er sterkt belastet med forurensninger. Eutrofiering gjør seg markert gjeldende. Feltundersøkelser i Brenntangenområdet viser også forurensningsvirkninger.

Stengeområder for sild og brisling, Emmerstadbukta og Kjøvangen, kan bli uheldig påvirket. En samlet vurdering for Brenntangen gir som resultat at dette byggestedsalternativet anses som særlig ugunstig i forhold til Vardeåsen og Hurum.

Vardeåsen: En har vurdert innlagrings- og fortynningsmulighetene som gode. De storstilte bevegelser i fjorden ventes å medføre en nordoverrettet transport av avløpsvarmen, men nær land viser utførte målinger at strømforholdene er ustabile og også lokalt betinget. Forholdsvis store gruntvannsområder kan bli påvirket av avløpsvarmen. Ustabile strømforhold vil medføre vekslende påvirkninger som er uheldig. Evjesundet, stengeområde for sild og brisling, kan bli uheldig påvirket. Vardeåsen-alternativet er vurdert som mindre ugunstig enn Brenntangen.

Hurum: Fortynnings- og innlagringsmulighetene er vurdert som gode. Den relativt store nettoutstrømningen fra Drammensfjorden samt de storstilte bevegelser i fjorden ventes å gi en generell transport av avløpsvarmen ut av Breiangen. Hurum-alternativet er vurdert som mindre ugunstig enn Brenntangen-alternativet. Manglende observasjonsmateriale gjør vurderingen i forhold til Vardeåsen-alternativet usikker. En har likevel valgt å rangere Hurum-alternativet foran Vardeåsen-alternativet fordi avløpsvarmen fra et kjernekraftverk ved Hurum ventes å bli ført utover i Oslofjorden, og fordi faren for å påvirke silde- og brislingfisket er mindre enn ved Vardeåsen.

Av de tre byggestedsalternativene er Hurum vurdert som det minst ugunstige.

LITTERATURLISTE

BARNETT, P.R.O. (1971): Some changes in intertidal sand communities due to thermal pollution. Proc. Roy. Soc. Lond. B. Vol. 177, pp. 353-364.

BARNETT, P.R.O. (1972): Effects of warm water effluents from power stations on marine life. Proc. Roy. Soc. Lond. B. Vol. 180, pp. 497-509.

BEYER, F. (1968): Zooplankton, zoobenthos and bottom sediments as related to pollution and water exchange in the Oslofjord. Helgoländer wiss. Meeresunters. Vol. 17, pp. 496-509.

BEYER, F. (1972): Notat om biologiske og hydrografiske forhold med tilknytning til kjølevannsutslipp fra kjernekraftverk, spesielt i Oslofjorden. Undersøkelser av vann- og forurensningsproblemer ved kjernekraftverk. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

BRETT, J.R. (1960): Thermal requirements of fish - three decades of study, 1940 - 1970. I "Biological Problems in Water Pollution". 2nd Seminar, 1959. Robert A. Taft Sanitary Engineering Center, Techn. Rept. W60-3, pp. 110-117.

BRAARUD, T. & NYGAARD, I. (1967): Delrapport nr. 4: Fytoplankton. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

DAHL, F.-E. (1970): Utskiftningsprosesser og sirkulasjon i Drammensfjorden. Hovedfagsoppgave i geofysikk, Universitetet i Oslo.

DAHL, F.-E. (1972): To hydrografiske snitt i Oslofjorden. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

EKMAN, S. (1935): Tiergeographie des Meeres. Leipzig.

ERIKSSON, G. & FORSBERG, C. (1971): Varmtvattenutsläpp och alger. Vatten 4.

FAN, L.N. (1967): Turbulent buoyant jets into stratified or flowing ambient fluids. W.M. Keck Lab. of Hydraulics and Water Resources, Div. of Eng. and Appl. Sci., Calif. Inst. of Techn.

FARMANFARMAIAN, A. & GIESE, A.C. (1963): Thermal tolerance and acclimation in the western purple sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus*. *Physiol. Zool.* 36, pp. 237-243.

GADE, H.G. (1967): Delrapport nr. 2: Hydrografi. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

GRIP, K. (1970): Upublisert materiale (Inst. för fysiologisk botanik, Uppsala), publisert av Eriksson og Forsberg 1971).

HEINLE, D.R. (1969): Temperature and Zooplankton. *Chesapeake Science*, Vol. 10 No. 3 & 4, pp. 186-209.

I A E A (1971): Environmental Aspects of Nuclear Power Stations. Proceedings of a Symposium New York, 10-14 August 1970, organized by IAEA in cooperation with USAEC.

KINNE, O. (1970): In Marine Ecology. A Comprehensive, Integrated Treatise on Life in Oceans and Coastal Waters. Ed.: O. Kinne, Vol. I, Environmental Factors. Part 1. London-New York-Sydney-Toronto.

KLAVESTAD, N. (1967): Delrapport nr. 9: Undersøkelser over benthos **algevegetasjonen** i indre Oslofjord 1962-1965. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

MORGAN, R.P. & STROSS, R.G. (1969): *Chesapeake Science* Vol. 10 No. 3 & 4, pp. 165-171.

MUNTHE-KAAS, H. (1967): Fjordens topografi. Delrapport nr.15. Oslofjorden og dens forurensningsproblemer. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

NAUMAN, J.W. & CORY, R.L. (1969): Thermal additions and epifaunal organisms at Chalk Point, Maryland. Chesapeake Science, Vol. 10 No. 3 & 4, pp. 218-226.

NAYLOR, E. (1965): Effects of heated effluents upon marine and estuarine organisms. Adv. mar. biol., Vol. 3, pp. 63-103.

Norsk institutt for vannforskning (1968): Oslofjorden og dens forurensningsproblemer. I. Undersøkelsene 1962-1965.

Norsk institutt for vannforskning (1970): Oslofjorden og dens forurensningsproblemer. II. Utredning av tekniske løsninger.

PARKER, F.L. & KRENKEL, P.A. (1969): Engineering aspects of thermal pollution. Vanderbilt University Press.

PRYCH, E.A. (1972): A warm water effluent analyzed as a buoyant surface jet. SMHI, serie Hydrologi, nr. 21, Stockholm.

REMANE, A. & SCHLIEPER, C. (1958): Die Biologie des Brackwassers. Die Binnengewässer, Band XXII, Stuttgart.

SKULBERG, O.M. (1970): The importance of algal cultures for the assessment of the eutrophication of the Oslofjord. Helgoländer wiss. Meeresunter. Vol. 20 No. 1-4, pp. 111-125.

SOUTHWARD, A.J. (1964): The relation between temperature and rhythmic cirral activity in some *Cirripedia* considered in connection with their geographical distribution. J. mar. biol. Ass. U.K., 37, pp. 49-66.

STOLZENBACH, K.D. & HARLEMAN, D.R.F. (1971): An analytical and experimental investigation of surface discharges of heated water. R.M. Parson's Lab. for Water Resources and Hydrodynamics, Dep. Civil Eng., MIT.

SUNDENE, O. (1953): Algal vegetation of Oslofjord. Skr. norske VidenskAkad. I. Mat.-Nat. Kl. Vol. 2 - pp. 1-245.