



NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEKET



NVE informerer om

kjølevann

fra
varmekraftverk

Forord

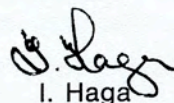
NVE har tidligere utgitt to skrifter om kjernekraft: «NVE informerer om kjernekraftverk» og «Lokalisering av kjernekraftverk i Oslofjordområdet». I nærværende skrift behandles kjølevannsystemene for varmekraftverk i sin alminnelighet, spesielt under den forutsetning at kjølingen skjer med sjøvann. Alternative kjølemetoder er kort diskutert, og mulige utnyttingsmåter for spillvarmen er berørt.

Skriftet er ment å gi en kort sammenfatning av de spørsmål som studeres i detalj ved lokaliseringsundersøkelser. Det gir eksempler på de undersøkelser som må gjennomføres når virkningene av utslippet av oppvarmet kjølevann skal vurderes.

Utslipp av radioaktive stoffer med kjølevannet fra kjernekraftverk er ikke tatt med her. Dette problem er nevnt bl.a. i skriftet «Kjernekraft, helse og sikkerhet» utgitt av Statens institutt for strålehygiene i 1973.

Vi vil gjerne stå til tjeneste med videre informasjon så langt som mulig. Henvendelser kan skje skriftlig til informasjonskontoret, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Postboks 5091, Majorstua, Oslo 3 — eller telefonisk til (02) 46 98 00.

Mai 1975.


I. Haga

Innhold

Kraftverket

Varmekraftverket	4
Kjølevannet	5
Kan kjølevannet utnyttes	6-7
Alternative kjølearrangementer	8

Sjøen

Sjøvannets egenskaper	10
Fysiske beskrivelser av resipienten	11-12
Analyse	13
Blandings- og transportprosesser	14
Kjølevannsarrangementer	15
Tåkedannelse	16
Langtidsendringer	16

Livet i sjøen

Samspillet i naturen	18
Forandringer i livsvilkårene	19
Strandområdene	19
Forurensningsbelastning	20
Hvordan organismen påvirkes i kjølevannkretsen	21
Fiskerinæringen	22

Kjølevannet og resipienten

Lokalisering	24-25
Hvordan ulempene kan reduseres	26
Ordliste	27

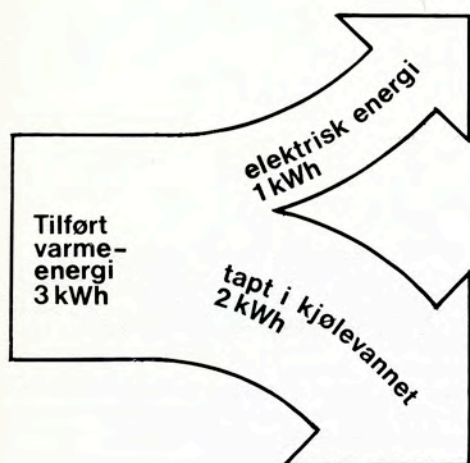


KRAFTVERKET

Denne delen handler om virkemåten til varmekraftverk og mulige forskjellige prinsipper for kjølevannsystemet, spesielt det mest aktuelle system for norske forhold. Enkelte muligheter for å utnytte spillvarmen er også skissert.

Kjølevannet

Et varmekraftverk på 1 000 MW trenger inntil 50 m³ kjølevann pr. sekund hvis oppvarmingen av kjølevannet begrenses til ca. 10°C. Vannet bør være så kaldt og rent som mulig.



Krav til kjølevannet

Begroing i kjølevannssystemet gir nedsatt kjøleevne og dermed redusert elektrisitetsproduksjon. Det er derfor ønskelig at kjølevannet inneholder så lite organismer og næringsalter som mulig. Videre er det ønskelig av hensyn til virkningsgraden at kjølevannets temperatur er så lav som mulig og ikke varierer mye med årstidene. Kjølevannet bør heller ikke inneholde bestanddeler som forårsaker sterk korrosjon eller beleggdannelse.

Kjølevannskretsen

En mulig utforming av kjølevannskretsen er vist på figuren nedenfor. Vannet blir tatt inn gjennom en inntakskanal eller tunnel.

Det benyttes et relativt stort tverrsnitt for å holde strømhastigheten i inntaket lav for å redusere mest mulig innsugningen av fisk og andre organismer i inntakskanalen. Via en grovrist med omtrent 10 cm avstand mellom stavenes føres vannet inn i silstasjonen. Der passerer det først en finere rist med ca. 2 cm maskevidde, og deretter en sil med maskevidde på ca. 0,5 cm.

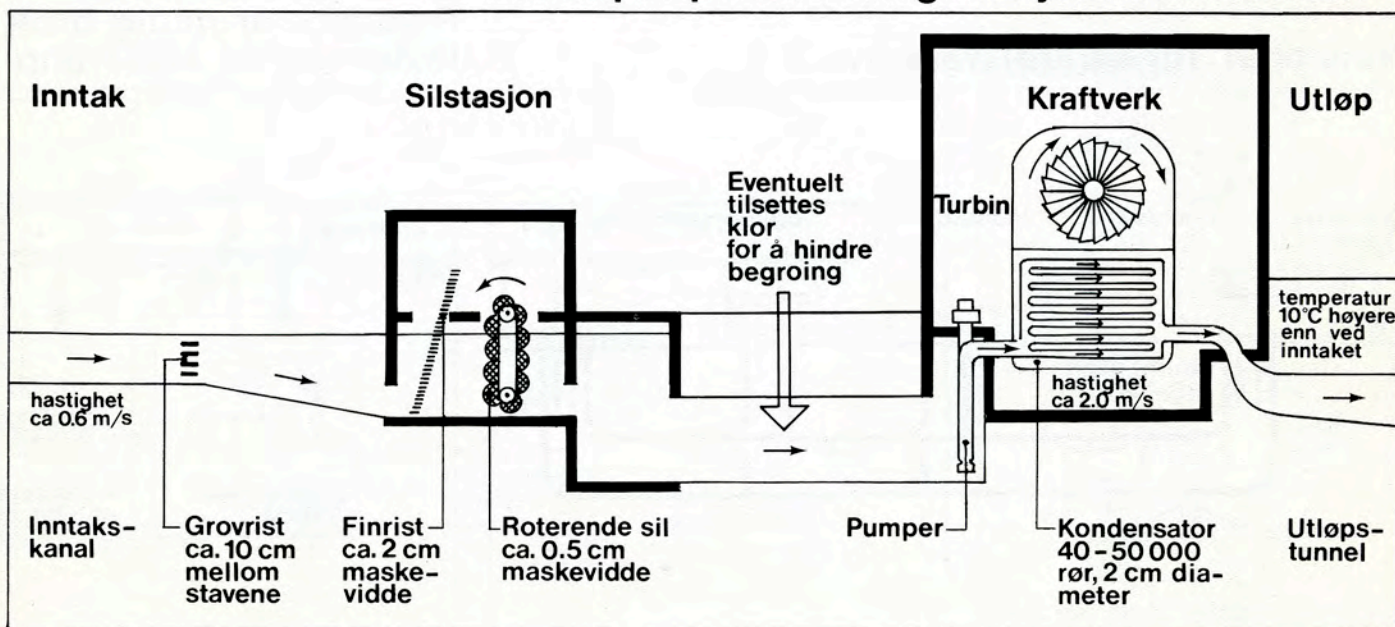
Etter at vannet har passert silstasjonen, kan det eventuelt periodevis bli tilsatt en viss porsjon klor for å hindre begroing i kondensatorrør og inntaksledning. Kjølevannet pumpes så gjennom kondensatoren som har rør med en diameter på vel 2 cm.

Et turbinanlegg på 1 000 MW vil ha 40 000 - 50 000 slike rør. Vannhastigheten er her ca. 2 m/sek.

Radioaktivt utslipp i kjølevannet

I dette skriftet behandles bare den termiske virkning på resipienten. Det kan imidlertid nevnes at eventuelle utslipp av radioaktivt væskeavfall fra kjernekraftverk som regel går via den utgående kjølevannstrømmen til resipienten. I denne store kjølevannstrømmen blir utslippet sterkt fortennet. Dette forhold er gjenstand for særskilte undersøkelser som ikke behandles i dette skriftet.

Eksempel på utforming av kjølevannskretsen



Kan kjølevannet utnyttes?

I et varmekraftverk som er konstruert for utelukkende å produsere elektrisk energi, går opptil to tredjedeler av den utviklede varmeenergien tapt i kjølevannet. Det er ut fra mange synspunkter ønskelig å utnytte denne energien.

Det finnes atskillige teoretiske muligheter for å utnytte kjølevannet. En del av disse er allerede økonomisk gjennomførbare i praksis, og nye ideer kan i fremtiden åpne nye muligheter. For tiden finnes imidlertid ingen metoder som kan gjøre bruk av *alt* det oppvarmede kjølevannet. Selv fra kraftvarmeverk som produserer både elektrisk kraft og varmtvann, må en i visse perioder med lav belastning på varmtvannsnettet slippe ut kjølevann for å kunne utnytte mulighetene for elektrisitetsproduksjon helt ut. I dag og i den nærmeste fremtid har en derfor neppe noe valg — en må slippe ut store mengder kjølevann ved alle typer kraftverk som arbeider med damp.

Varmtvann fra kraftvarmeverk

Prinsippet for et kraftvarmeverk vises i figuren nedenfor. Varmtvannet som tas ut, kan ha en temperatur på 80-120°C. Da denne temperatur er vesentlig høyere enn kjølevannstemperaturen ved et kondenskraftverk, blir, ved samme tilførte varmeenergi, produksjonen av elektrisk energi mindre enn ved kondenskraftverket. Totalt kan imidlertid virkningsgraden komme opp i 80-90 %.

Boligoppvarming

Varmtvannet fra et kraftvarmeverk kan anvendes til boligoppvarming gjennom

fjernvarmeanlegg. Slike kraftvarmeverk vil dermed produsere både elektrisk energi og varmeenergi. Et praktisk problem er imidlertid at det ikke er balanse mellom behovet for elektrisk energi på kraftnettet og muligheten for avsetning av varmeenergi i de områder hvor fjernvarme er teknisk og økonomisk mulig. Kraftvarmeverk kan derfor være aktuelle bare for en mindre del av elektrisitetsproduksjonen og bare som mindre enheter nær store befolkningssentra.

Industrielle prosesser

Visse industrielle prosesser, f.eks. innen den kjemiske industrien, som har stort varmebehov, kan utnytte damp eller varmtvann fra kraftvarmeverk. Et kjernekraftverk av denne typen, hvor en stor kjemisk industri er mottageren, er for tiden under bygging i Michigan, USA. Det er bare meget store industrianlegg som kan utnytte all restvarmen fra et stort varmekraftverk.

Temperert kjølevann

Kjølevannet fra et konvensjonelt kondenskraftverk har en temperatur som er 8-10°C høyere enn innløpstemperaturen. Den lave temperaturen er et av hovedproblemene når det gjelder å utnytte overskuddsvarmen i kjølevannet. Et annet problem er de store vannmengdene det er snakk om, 50 m³/s pr. 1 000 MW produsert

elektrisk energi. Det finnes imidlertid flere forslag til hvordan man skal kunne utnytte det tempererte vannet. Det er redegjort for noen av forslagene nedenfor.

Biokjemisk industri

I den biokjemiske industri anvendes virksomheten til levende organismer som f.eks. gjærsopper eller bakterier i fremstillingen av visse produkter. Enkelte prosesser innen denne industri skal kunne utnytte det lavtempererte kjølevannet. Men det blir bare en meget liten del av den samlede kjølevannsmengden som vil kunne utnyttes på denne måte.

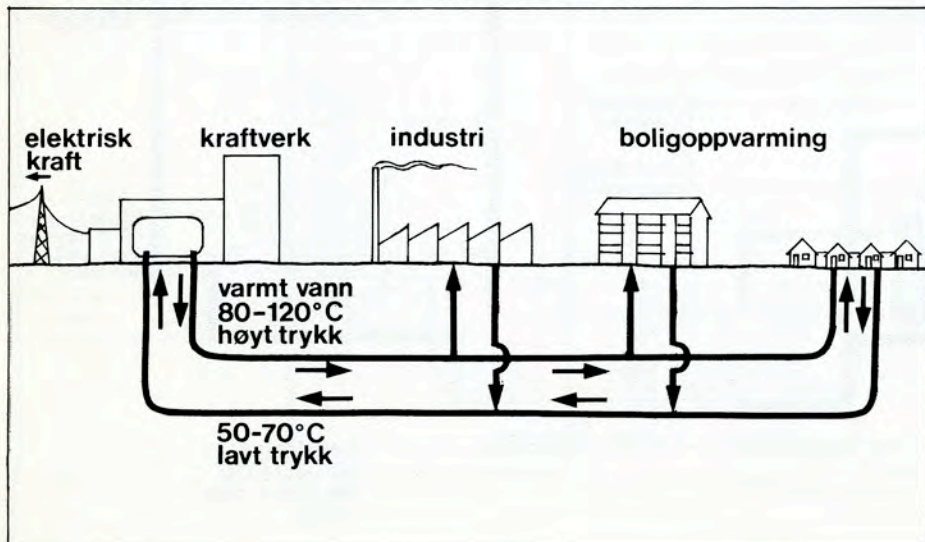
Kloakkrensning

En idé som en i USA mener kan ha store utviklingsmuligheter, består i å nytte det oppvarmede vannet til å påskynde den biologiske nedbrytingen i renseanlegg for kloakkvann. En temperaturøkning på 10°C bortimot fordobler hastigheten i nedbrytingsprosessen.

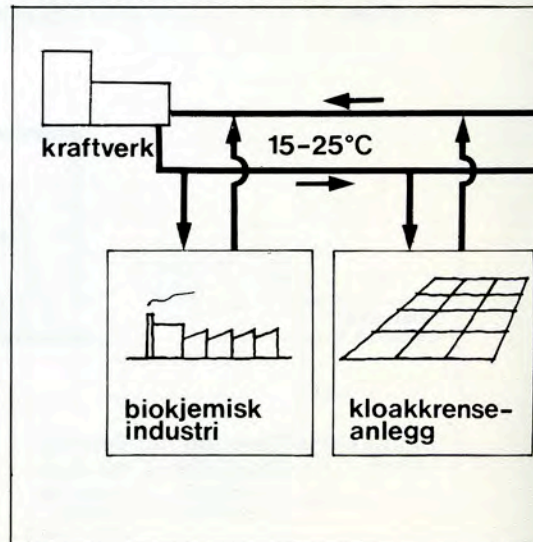
Jordbruk. Veksthus

I andre land foreligger det planer om å bruke det oppvarmede vannet til å øke produksjonen pr. arealenhet, forlenge vekstsesongen og gi billigere produkter. Enkelte forsøksanlegg er også i drift. Kjølevannet kan imidlertid ikke brukes direkte til oppvarming av vanlige veksthus på grunn av dets lave temperatur. Det har vært forsøkt å dyrke forskjellige

Prinsippet for et kraftvarmeverk



Prinsipp for mulig bruk av lavtemperert kjølevann



hagebruksprodukter under dekke, og dette kan muligens få praktisk anvendelse. Men det vil i tilfelle bare bli en meget liten del av kjølevannsmengden som vil kunne nyttes på denne måten.

Isfrie veier og flyplasser

Det er teoretisk sett mulig å bruke kjølevannet til å holde flyplasser og veier isfrie på vintertiden. I praksis vil imidlertid slike løsninger bli svært dyre. Det er igjen kjølevannets lave temperatur, spesielt om vinteren når behovet for slik oppvarming er tilstede, som skaper problemer.

Friluftsbad, svømmebassenger

Et forslag som svært ofte settes fram, er å bruke kjølevannet til friluftsbad med behagelig temperatur i en større del av året. Dette lar seg også meget vel gjøre, men det er bare en meget liten del av kjølevannet en vil ha bruk for. Det finnes planer for badeanlegg i tilslutning til kjernekraftverk i Sverige, der en regner med at ca. 0,5 m³/sek., som er vel 1 % av kjølevannsmengden fra ett av aggregatene, skulle kunne nyttes til badeanlegg.

Forbedring av vannkvaliteten

Vanligvis regner en med at utslipp av oppvarmet kjølevann i sterkt forurensede områder vil ha en negativ virkning. Det er da forutsatt at utslippet bevirker en oppvarming av området.

Hvis næringsalter er i overskudd, kan en temperaturøkning føre til økt organisk produksjon, i neste omgang økt nedbryting og dermed økt forbruk av oksygen. Dette forhold blir nærmere omtalt på side 20.

Undersøkelser pågår imidlertid for å få klarlagt om kjølevannstrømmen kan nyttes til å øke utskiftningshastigheten av vannet i forurensede fjordbassenger med liten eller mangelfull vannutveksling. Forslag som vurderes er f.eks. å ta inn kjølevannet fra det forurensede området og slippe det ut i vannområdene utenfor, eller omvendt. Gjennomførbarheten av slike løsninger er imidlertid ikke klarlagt.

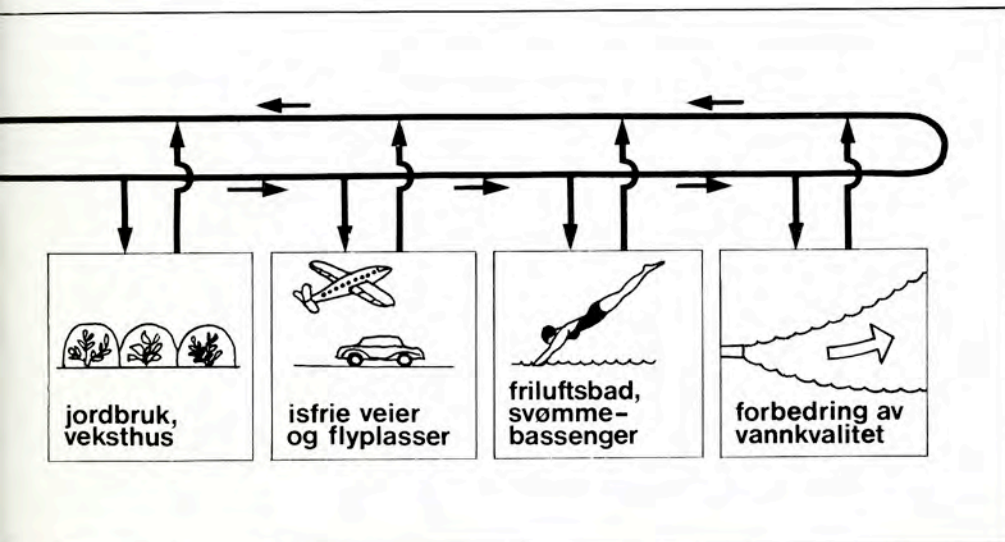
I Sverige har en vurdert muligheten av å forbedre kvaliteten i det kraftig forurensede vannet i deler av Stockholms skjærgård ved en passende utforming av kjølevannsutløpet fra et planlagt varmekraftverk. Av forskjellige årsaker har en imidlertid der ikke funnet å ville gå inn for en slik løsning.

Aquakultur

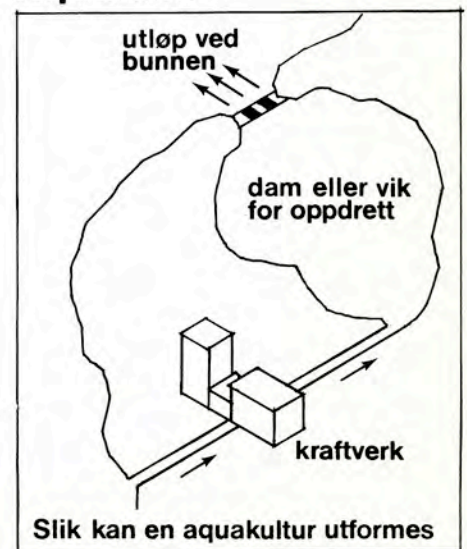
Både her hjemme og i utlandet drives forskning for å avklare problemene i forbindelse med aquakultur. I denne sammenhengen vurderes også mulighetene for å benytte kjølevannet fra varmekraftverk til kultivering av forskjellige organismer.

I Skottland har det i flere år vært drevet forsøk med oppdrett av flyndre i kjølevannet fra et kjernekraftverk, med meget gode resultater. Foreløpig benyttes imidlertid bare en liten del av kjølevannsmengden, hovedmengden går ubenyttet i havet. Ved å plassere varmekraftverket slik at naturlige sjøområder kan benyttes til kultivering, kan større mengder av kjølevannet benyttes.

Det finnes en rekke arter av fisk, skjell, krepsdyr og alger som med stor sannsynlighet vil egne seg for oppdrett i oppvarmet kjølevann (sjøvann) fra et varmekraftverk. Oppdrett kan enten foregå i tanker og avstengninger på land, der man kan etablere full kontroll med alle miljøfaktorer, eller ved å bruke deler av resipienten (områdets nærsone.) Ved den sistnevnte teknikk har man mindre kontroll over miljøet. For flere arter (hummer, reker, varmekjære fiskearter) er det nødvendig med en høy temperatur hele året (oppdrett på land). Andre arter krever en moderat temperatur, som betinger delvis kontroll av temperaturen. Dette kan gjøres enten ved å blande oppvarmet og kaldt vann i landanlegg, eller anvende flytedammer, som kan taues inn eller ut av området i takt med de naturlige temperaturvariasjoner i resipienten.



Aquakultur



Alternative kjølearrangementer

I Norge er direktebruk av sjøen som resipient fordelaktig ut fra tekniske og økonomiske vurderinger. Miljømessig bør også ulempene kunne reduseres til et akseptabelt nivå, bl.a. ved hensiktsmessig valg av byggesteder for kraftverkene.

Vi har to grupper av kjølearrangementer, nemlig lukkede og åpne systemer.

Lukkede kjølevannssystemer

I lukkede kjølevannssystemer lar en kjølevannet sirkulere gjennom et kjøletårn eller et kjølebasseng hvor varmen avgis til atmosfæren før vannet på nytt pumpes tilbake til kondensatoren.

Av kjøletårn finnes to hovedtyper, tørre og våte. Begge typene kan utformes med naturlig eller forsert ventilasjon. Her skal bare behandles våte kjøletårn, ettersom kostnadene for den tørre typen hittil har vist seg ufordelaktige ved større effekter.

Våte kjøletårn med naturlig ventilasjon, som er best egnet i kaldt klima, forutsetter meget store tårn. Formen er bestemt på grunnlag av aerodynamiske prinsipper. Grunnflatens diameter kan være ca. 120 m og høyden ca. 140 m. Et kraftverk på 1 000 MW vil kreve 1-2 slike kjøletårn som vil legge beslag på et grunnareal på 20-40 dekar.

Den vanligste typen kjøletårn med forsert ventilasjon har en annen utforming. Det er betydelig lavere og diameteren er begrenset til 65 m. For et kraftverk på 1 000 MW vil trenge 5-7 slike tårn, som vil kreve et grunnareal på 25-35 dekar.

Den nødvendige størrelsen på et kjølebasseng vil avhenge av de lokale klimatiske forhold som vind, luftfuktighet og lufttemperatur. Generelt vil en kunne regne med at et kraftverk på 1 000 MW vil trenge et kjølebasseng på mellom 4 000 og 6 000 dekar.

Under visse værforhold vil kjøletårnene kunne være omgitt av tåkeskyer. Kjølebassenget vil også kunne være dekket av tåke. Både kjøletårn og kjølebasseng krever store ekstrakostnader i forhold til åpne kjølevannssystemer. Også de lukkede kjølevannssystemer trenger visse mengder tilskuddsvann.

Åpne kjølevannssystemer

I et åpent kjølevannssystem tas kjølevannet inn fra og slippes ut i et større vassdrag, en innsjø eller i havet.

I Sør-Norge er det bare én elv, Glomma, som har stor nok vannføring til å kunne forsyne et større varmekraftverk med kjølevann gjennom hele året. Midlere vannføring ved Sarpsborg er 700 m³/sek., mens den regulerte vannføringen er ca. 340 m³/sek. Flere av våre innsjøer og for den saks skyld også magasiner for vannkraftverk vil være istand til å forsyne et varmekraftverk med tilstrekkelige mengder kjølevann av brukbar kvalitet.

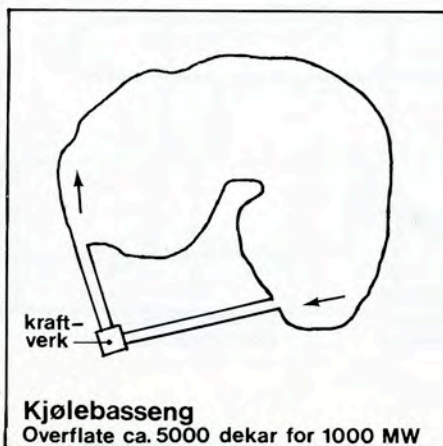
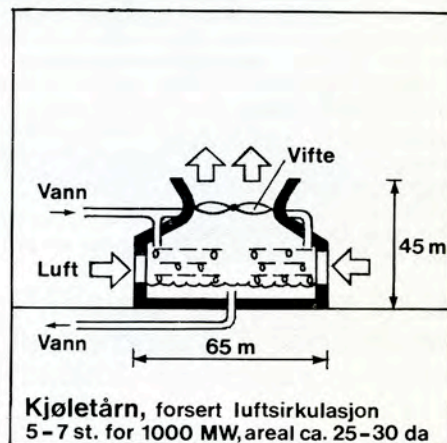
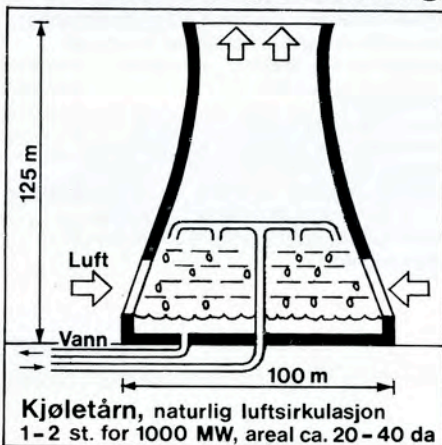
Ved utslipp i en fjord eller i havet må en så langt som mulig sørge for å begrense eventuelle uheldige påvirkninger fra det oppvarmede kjølevann, som f.eks. en forsterkning av eksisterende forurensning eller uønskede endringer i dyre- og plantelivet. En må også vurdere risikoen for øket tåkedannelse og endrede strømforhold, som kan være til ulempe for skipsfarten. Ved passende valg av utslippsdybde kan tåkedannelse praktisk talt unngås. Videre må en vurdere risikoen for eventuelle uheldige virkninger av inntakstrømmen både for dyre- og plantelivet og for kraftverkets drift.


Vannområdets evne til å forsyne kraftverket med tilstrekkelige mengder kjølevann av brukbar kvalitet er det også av viktighet å få klarlagt.

Kombinasjonskjøling

En kombinasjon av forskjellige kjølearrangementer er også tenkelig. En kan f.eks. nytte kjøletårn i forbindelse med kjølebasseng, eller en kan la kjølevannet passere gjennom kjøletårn eller kjølebasseng før det slippes ut i resipienten for derved å redusere påvirkningen på denne.

Alternative kjølearrangementer





SJØEN

Denne del handler om noen av de vanligste fysiske prosesser som finner sted i fjordene og kystområdene, og gir en beskrivelse av noen metoder som nyttes for å innhente opplysninger om disse prosessene. Dessuten gis en orientering om de virkninger kjølevannet kan ha på temperaturforholdene i sjøen.

Sjøvannets egenskaper

Større saltholdighet i vannet gjør vannet tyngre. Lavere temperatur gjør også vannet tyngre. I sjøvann (kystvann) domineres vanligvis endringer i tettheten av variasjon av saltholdigheten.

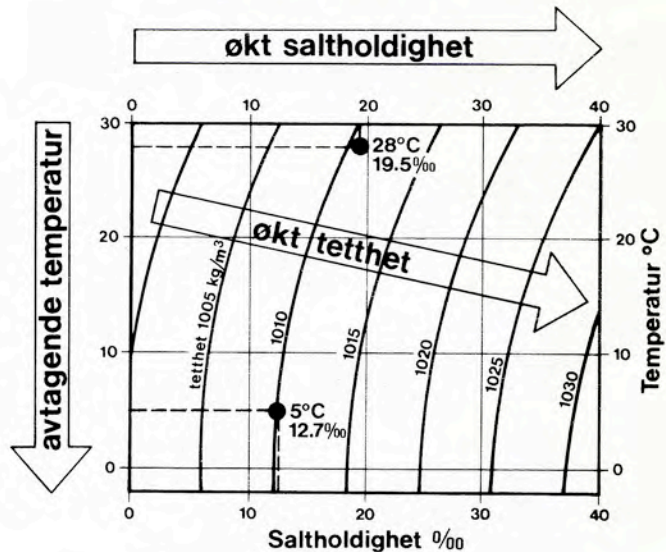
I sjøvann finnes oppløst en hel rekke forskjellige salter. I verdenshavene er saltholdigheten relativt konstant, ca. 35 ‰. Det vil si at i et kilo vann er det oppløst ca. 35 gram salter. I kystområder, hvor ferskvannstilførselen er større enn fordampningen, er saltholdigheten i overflatelaget imidlertid lavere enn 35 ‰. I kystområdene ligger vanligvis saltholdigheten i overflaten mellom 10 og 32 ‰.

Sjøvannets tetthet (egenvekt) avhenger både av temperaturen og saltholdigheten i vannet. I figuren til høyre hvor saltholdigheten er avsatt langs den horisontale akse og temperaturen langs den vertikale akse, er linjer for konstant tetthet av sjøvann tegnet inn. Hver slik linje viser derfor de kombinasjoner av temperatur og saltholdighet som gir den samme tettheten på vannet. F.eks. viser figuren at sjøvann med en temperatur på 5°C og en saltholdighet på 12,7 ‰ har samme tetthet som sjøvann med en temperatur på 28°C og en saltholdighet på 19,5 ‰.

En ser av figuren at tettheten øker med økende saltholdighet og avtagende temperatur. Videre ser en at innen de naturlige variasjonsgrensene for saltholdighet og temperatur i sjøvann, vil saltholdigheten kunne bevirke en vesentlig større endring av tettheten enn temperaturen.

Som nevnt foran vil som regel i kystfarvann tilførselen av ferskvann være større enn fordampningen. Nær overflaten finner en i kystfarvann derfor ofte vann med lav saltholdighet. Under dette overflatelaget vil det være vann med høyere saltholdighet og tetthet. Grenseområdet mellom overflatelaget og det tyngre dypvannet kalles sprangsjikt, fordi det her er et «sprang» i tettheten mellom de to vann typer.

Blanding av vanttypene skjer i området ved sprangsjiktet. En slik situasjon kan ses i figuren nedenfor, som dessuten illustrerer de viktigste topografiske og hydrografiske forhold i en terskelfjord med ferskvannstilførsel.

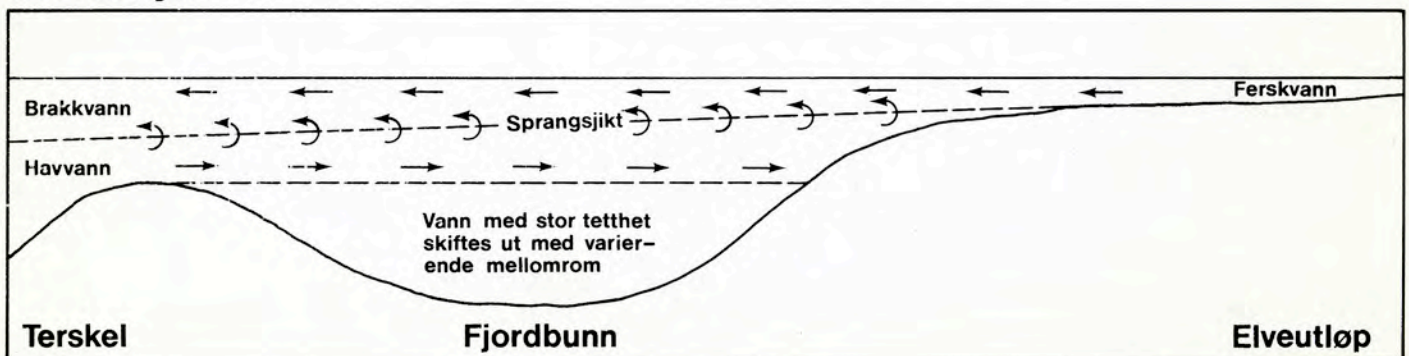


Et relativt dypt basseng er her skilt fra havet med en undersjøisk terskel. Fra områdene rundt fjorden tilføres ferskvann. På sin vei ut i fjorden blandes dette med underliggende sjøvann, og det dannes et vannlag i overflaten med lav saltholdighet. Under dette utoverstrømmende laget har en som regel en innoverrettet strøm (kompensasjonsstrøm) med saltere sjøvann. Kompensasjonsstrømmen oppstår når ferskvannet river med seg sjøvann som dermed må erstattes (kompenseres).

Når vannet under terskelnivået skiftes ut, snakker en gjerne om en dypvannsutskifting. Terskelen vil imidlertid virke hemmende på denne utskiftingen av de dypere vannmasser i fjordbassenget. Det er i denne forbindelse viktig å merke seg at tettheten til det utenforliggende vann ved

terskelen av forskjellige årsaker ofte varierer betydelig med tiden, samt at vertikale blandingsprosesser fører til at tettheten i dypvannet innenfor terskelen gradvis reduseres. Situasjoner vil dermed kunne oppstå hvor tetthetsendringene i vannet utenfor terskelen resulterer i at tettheten av det inntrengende vann er større enn tettheten av vannet i dypbassenget. Det inntrengende vann vil dermed kunne renne ned i dypbassenget og fortrengte det gamle dypvannet. Vi får da en dypvannsutskifting. Hyppigheten av slike dypvannsutskiftinger er derfor avhengig av forholdene både innenfor og utenfor terskelen, og det er ikke uvanlig at dypvannet skiftes ut mer eller mindre fullstendig flere ganger i løpet av et år.

Terskelfjorden



Fysisk beskrivelse av resipienten

For å kunne vurdere et vannområdes (resipientens) evne til å forsyne varmekraftverket med kjølevann av brukbar kvalitet samt de virkninger utslipp og inntak av kjølevann har i resipienten, må det foretas målinger.

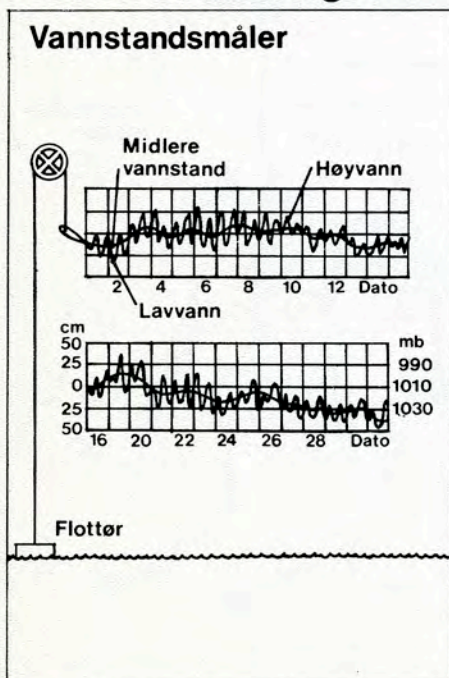
De viktigste ytre forhold som virker inn på den hydrofysiske tilstand i resipienten, er tidevannsbevegelser, ferskvannstilførsel, tilførsel av tungt, salt vann fra tilstøtende havområder, meteorologiske forhold som vind, lufttrykk, -temperatur og -fuktighet, samt områdets bunntopografi.

På grunnlag av målinger i resipienten kan en beskrive og beregne strøm og transportprosesser, lagdeling og temperaturforhold. De omfatter hydrofysiske målinger samt måling av enkelte ytre forhold. Hydrofysiske målinger omfatter registrering av temperatur, saltholdighet og oksygeninnhold samt strømmålinger.

Vannstandsmålinger

Hvis et område totalt sett tilføres eller mister en vannmengde, fører dette til en vannstandsending. En vannstandsending er derfor et uttrykk for at det har skjedd en transport. Tidevannet, vind og endringer i lufttrykket, er de vesentligste årsaker til vannstandsendinger. Ved økende lufttrykk vil vannstanden synke, mens den vil stige ved avtagende lufttrykk.

Vannstandsmålinger



Pålandsvinden kan føre til oppstuvning av vann mot en kyst og dermed en vannstandsheving, mens fralandsvind kan drive overflatevannet bort fra kysten, og dermed forårsake en vannstandssenkning.

Vind og lufttrykk registreres på meteorologiske værstasjoner. Vannstanden kan registreres kontinuerlig med vannstandsmåler.

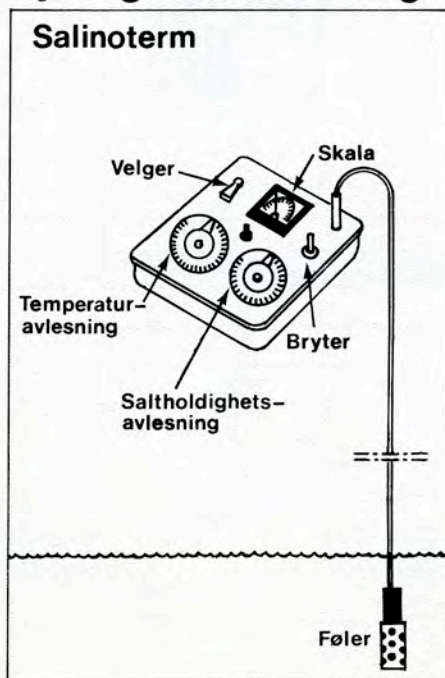
Hydrografiske data

For å beskrive vannets lagdeling, temperaturforhold og utskiftingsforhold, samler en inn data om temperatur, saltholdighet og oppløst oksygen. Kjennskap til disse forhold er grunnleggende for den hydrofysiske vurdering av resipienten. Av særlig stor interesse er variasjonen av disse størrelser med dybden og tiden. Det er også viktig å kjenne forholdene i resipienten før varmekraftverket settes i drift, slik at en senere kan registrere kjølevannets påvirkning.

Salinoterm

Hydrografiske størrelser måles hovedsakelig ved to metoder. På bildet nedenfor

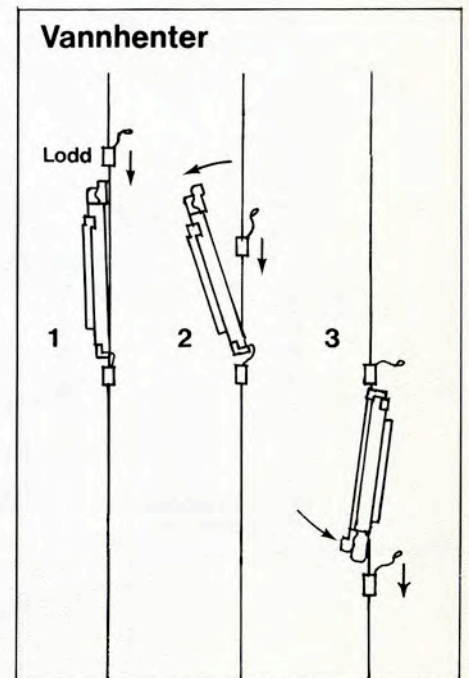
Hydrografiske målinger



i midten er det som et eksempel på den ene metoden vist en salinoterm. Denne består av en føler som via en kabel er forbundet med et måleinstrument. Når føleren senkes ned i sjøen, sendes via kabelen signaler til avlesningsenheten, f.eks. ombord i en båt. På denne kan en så direkte lese av saltholdighet og temperatur i den dybde hvor føleren befinner seg. Metoden er rask, men ikke så pålitelig som den andre metoden, nemlig måling med vannhenter.

Vannhenter

På bildet nedenfor er vist en «Nansen vannhenter». Flere slike vannhenter kan monteres under hverandre langs en wire. Med disse hentes vannprøver fra forskjellige dyp opp til overflaten. Vannprøvene analyseres i laboratorium for å bestemme saltholdighet, oksygeninnhold m.v. Virkemåten til vannhenterne er antydnet i figuren. Et lodd slippes langs wiren og treffer en mekanisme som lukker vannhenteren i det ønskede dyp. Samtidig utløses et nytt lodd som faller videre mot neste vannhenter.



Strøm

Strøm i et vannområde oppstår når dette påvirkes av en drivende kraft. Vind, lufttrykk, tidevann, ferskvannstilførsel og horisontale tetthetsforskjeller er noen av de vanligste naturlige årsaker til strøm i sjøen. Strøm er ensbetydende med transport av vann. Kjennskap til strømforholdene er viktig i resipientvurderinger, da en bl.a. ønsker å vite hvordan kjølevannet vil bli transportert bort fra utløpsstedet, vannmassenes utskifting og tilgangen på upåvirket kjølevann.

Prinsipielt er det to måter å måle strømmens hastighet (fart og retning) på. En kan måle strømmens hastighet i et bestemt punkt eller en kan måle hastigheten til et legeme som følger med strømmen.

Registrerende strømmålere

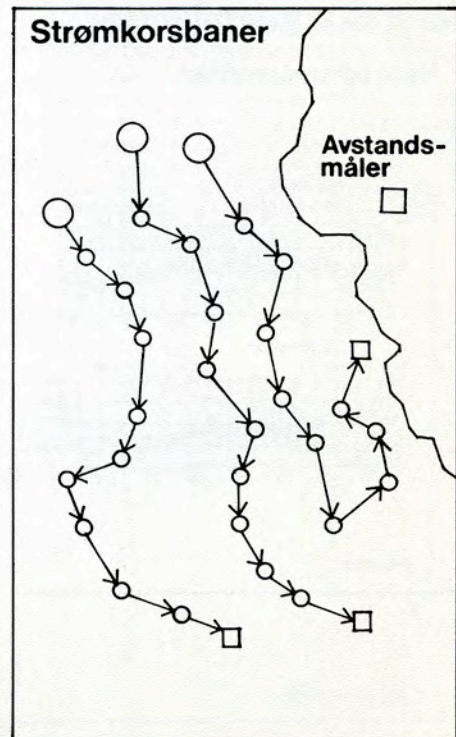
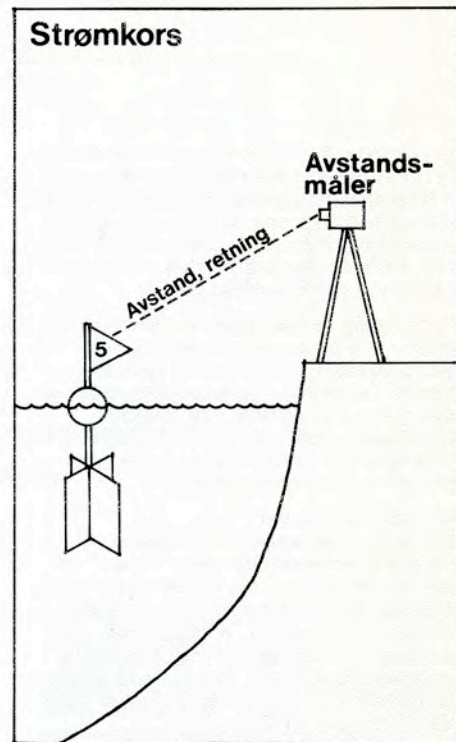
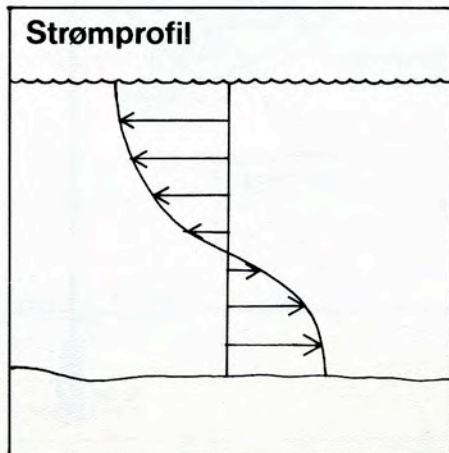
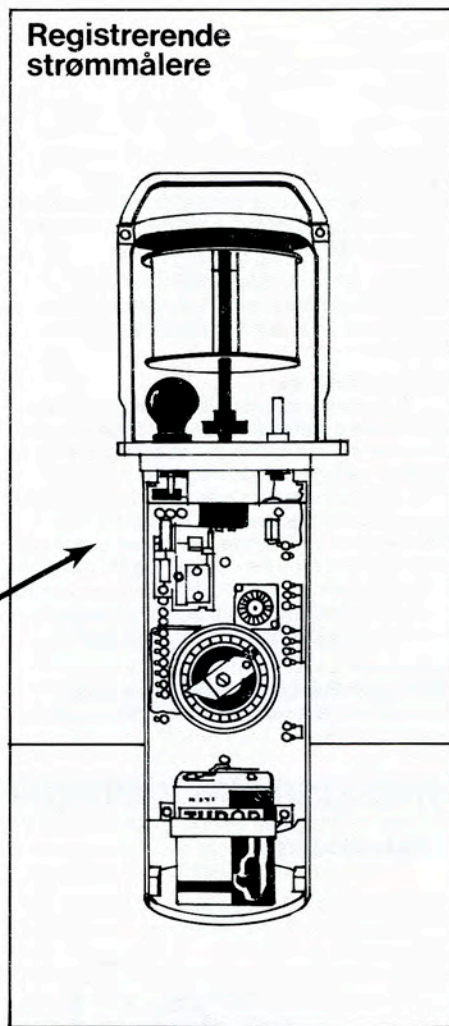
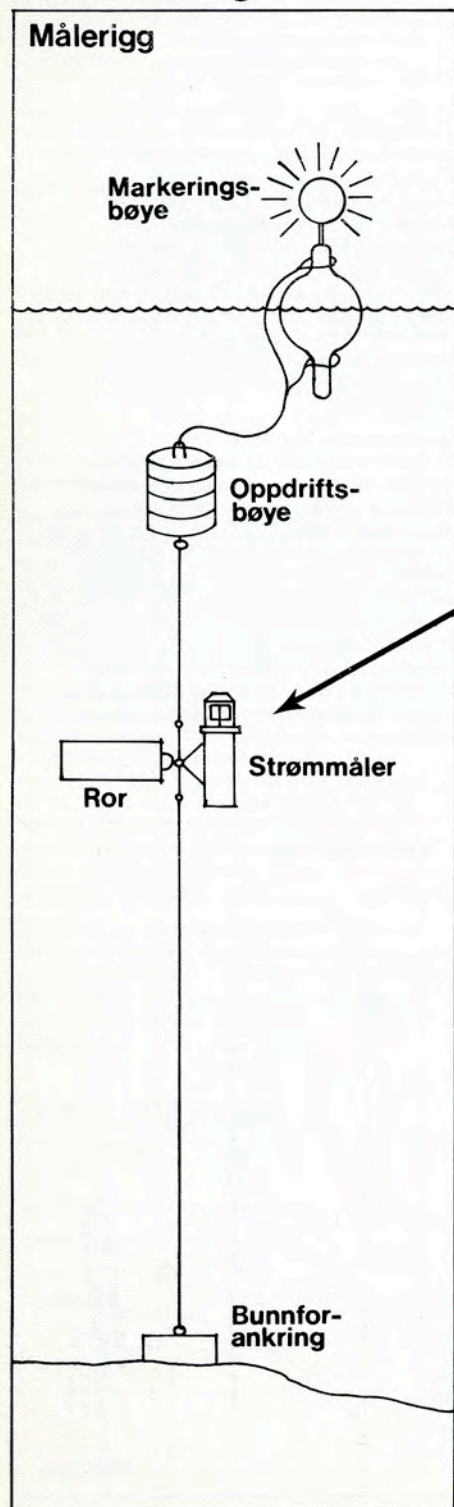
Registrerende strømmålere måler strømmens hastighet i et punkt. Flere slike strømmålere kan plasseres under hverandre i en strømmålerigg. Strømmens hastighet måles ved fastsatte tidsintervaller og registreres f.eks. på lydbånd eller film.

Disse registreringer blir etter avsluttet måling behandlet slik at en f.eks. kan tegne en strømprofil som vist nedenfor.

Strømkors

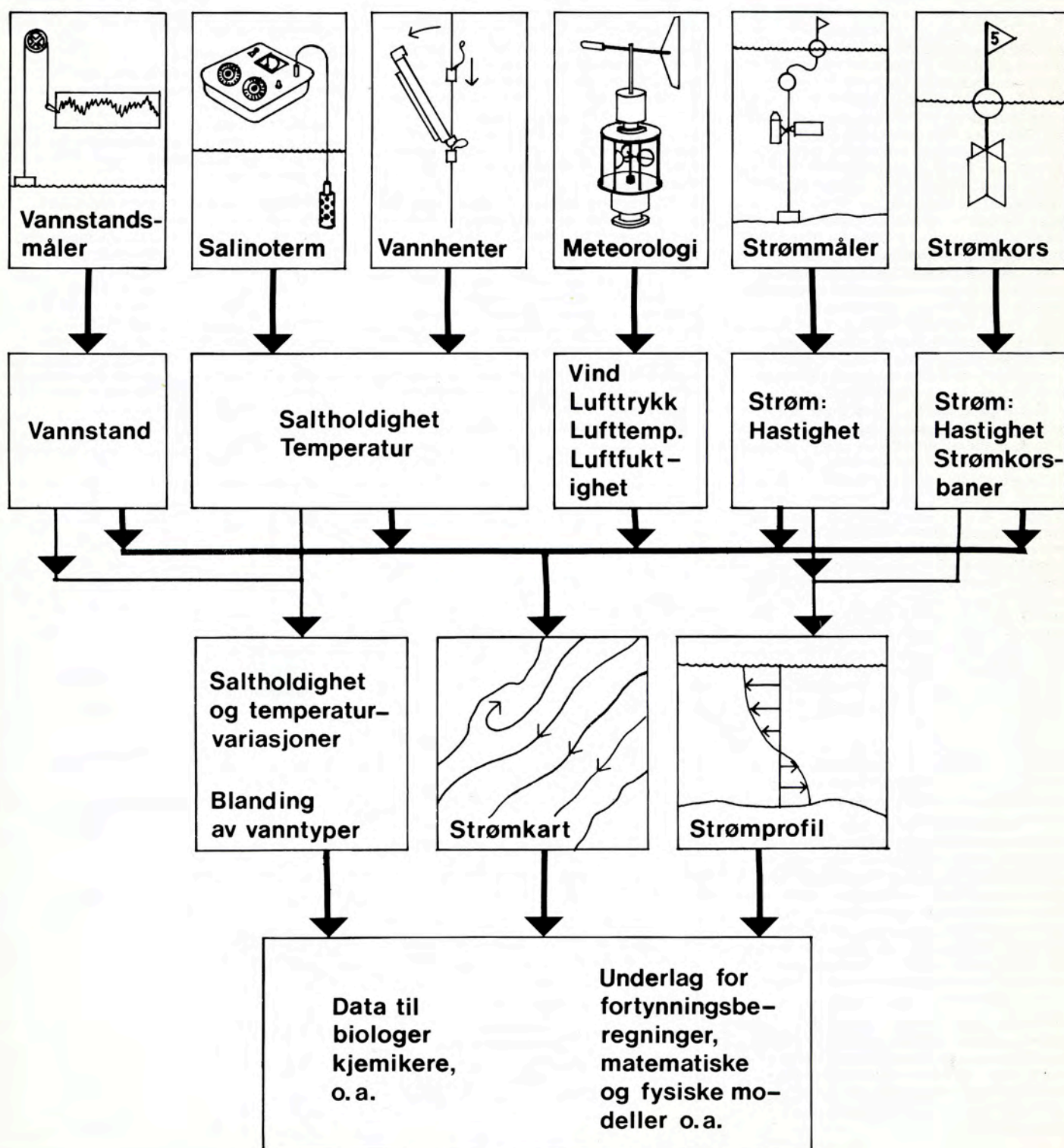
Fra et fast punkt måler en med visse intervaller avstand og retning til et strømkors som tilnærmet følger strømmens bane. På et kart kan man så tegne opp strømkorsbanen. Andre metoder som kan benyttes til strømbanemålinger er fotografering av fargestriper i overflaten og peiling av flasker med små radiosendere.

Strømmålinger



Analyse

De innsamlede feltdata bearbejdes ved forskjellige metoder for senere analyse. Ved analyse og sammenstilling av måleresultatene søker en så å beskrive de hydrofysiske forhold i området.



Blandings- og transportprosesser

Hvordan blandingen av kjølevann med vannet i resipienten forløper, avhenger av hydrofysiske, meteorologiske og topografiske forhold, samt av utløpets utforming.

Når kjølevannet slippes ut i resipienten, vil det blande seg med vannet i denne. Dette foregår ved at kjølevannet som nær utslippsstedet har stor hastighet i forhold til vannet omkring, river med seg vann fra disse vannmassene. De hvirvler som da oppstår, vil forårsake en blanding. Den sone hvor disse blandingsprosessene foregår, betegnes ofte nærsone. Utslippsvannets hastighet vil etter hvert reduseres, og i en viss avstand fra utløpet vil det ha mistet mesteparten av sin egenbevegelse i forhold til vannet omkring. Resipientens egen transport- og blandingsmekanisme vil deretter være bestemmende for blandingsprosessens videre forløp. Denne sone betegnes ofte fjernsone. Fortynningen i fjernsone vil være bestemt av forskjellige forhold i resipienten, som resipientens egen strøm, tetthetsfordelingen, topografien og vinden. Blandingsprosessene i fjernsone foregår langt langsommere enn i nærsone. Vanligvis deles disse prosessene inn i to karakteristiske prosesser, diffusive og advective. Mens de diffusive prosesser resulterer i blanding og fortykning av utslippet med de omkringliggende vannmasser, fører de advective prosesser til transport eller forflytning av utslippsvannet. Tenker en seg at strømmen i det området hvor de utslupne vannmasser befinner seg, består av mindre og større hvirvler, fører de mindre strømhvirvler til kontakt mellom det utslupne og det omkringliggende vann, hvilket resulterer i diffusjon. Strømhvirvler som er vesentlig større enn utslippstrømmens utstrekning, fører derimot til adveksjon. Er adveksjonsstrømmen en tidevannsstrøm som pendler frem og tilbake, vil ikke denne strømmen nødvendigvis følge samme bane i begge retninger. Dette fører til en effektiv spredning av kjølevannet.

Resultatet av disse blandings- og transportprosessene er at temperaturen først synker raskt, og deretter langsommere etter hvert som den fjerner seg fra utslippsstedet.

Varmeavgang til atmosfæren

Ovenfor er det bare sett på temperaturreduksjonen som skjer på grunn av utslippets blanding og transport i resipienten. Men utslippet avgir også varme til atmosfæren, noe som begrenser temperaturøkningen i resipienten. Vurdert over et stort område og lang tid er denne varmeavgangen til atmosfæren lik varmetilførselen til resipienten fra kjølevannet.

Varmeavgangen til atmosfæren er et resultat av varmestråling, fordamping og overføring på grunn av temperaturforskjell mellom luft og vann. Vind, luftfuktighet, lufttemperatur, skydekke og solstrålingen innvirker på denne varmeavgangen til atmosfæren.

Resirkulasjon bør såvidt mulig unngås

Med resirkulasjon menes at utslippet av det oppvarmede kjølevann forårsaker en økning av temperaturen i inntakskanalen. Resirkulasjonen kan skje ved at en del av utslippsvannet trekkes direkte inn i inntaket. Dessuten vil det i mange tilfeller, særlig i områder med vekslende strømforhold på grunn av tidevannet, kunne oppstå en viss grad av indirekte resirkulasjon fordi kjølevannet må ventes å påvirke store deler av resipienten. Det er derfor viktig å kjenne vannutskiftingen i resipienten idet en da kan skaffe seg kjennskap til tilgangen på «upåvirket» kjølevann til kraftverket.

Ved siden av de uheldige termiske følger av resirkulasjon, kan den også føre til at organismer trekkes gjennom kjølevannssystemet flere ganger og derved utsettes for store påkjenninger.

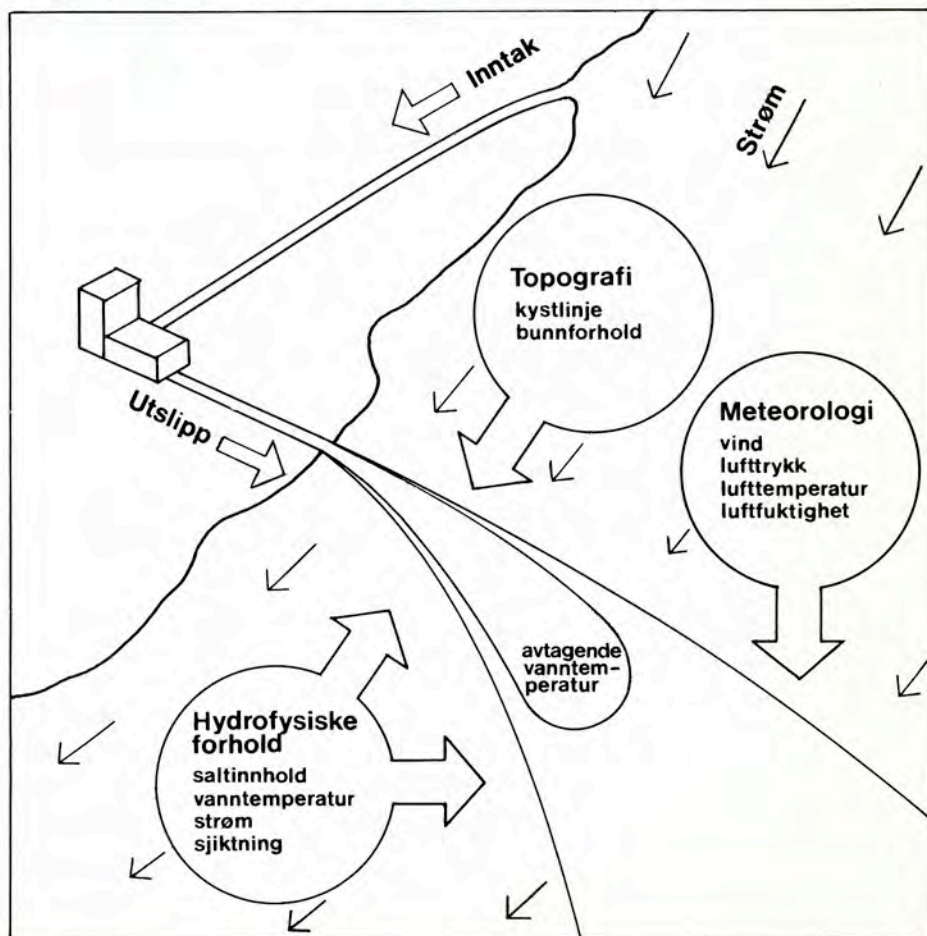
I områder hvor utslippet ikke kan betegnes som «passivt» i forhold til omgivelsene (dvs. særlig i trange områder) er slike vurderinger spesielt vanskelig å utføre,

fordi både utslippet og inntaket av kjølevann må ventes å påvirke de opprinnelige strøm- og transportforhold.

Nærsone og fjernsone

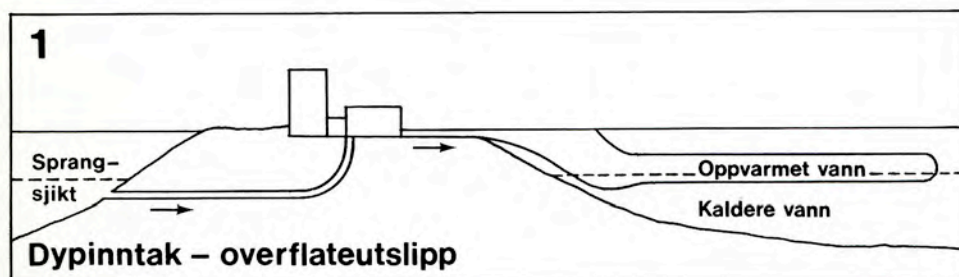
Som nevnt tidligere skiller en i blandingsprosessen mellom den tidlige fase hvor blanding skjer ved medrivning og den fase hvor resipientens egne blandingsmekanismer dominerer. Områdene for disse fasene er kalt «nærsone», henholdsvis «fjernsone».

I nærsone er overtemperaturen størst. Fortynningen er i hovedsak bestemt av utslippskanalens utforming, utslippshastighet og lagdelingsforholdene. Strøm i resipienten vil først og fremst innvirke på utslippets bane. Varmetap til atmosfæren er av liten betydning i dette området. Fortynnings- og spredningsforløpet kan her i en viss grad kontrolleres ved endringer i utslippsforholdene. Forhold av betydning i fjernsone er antydnet foran. I beregninger eller vurderinger er det vanlig å behandle de to sonene hver for seg.



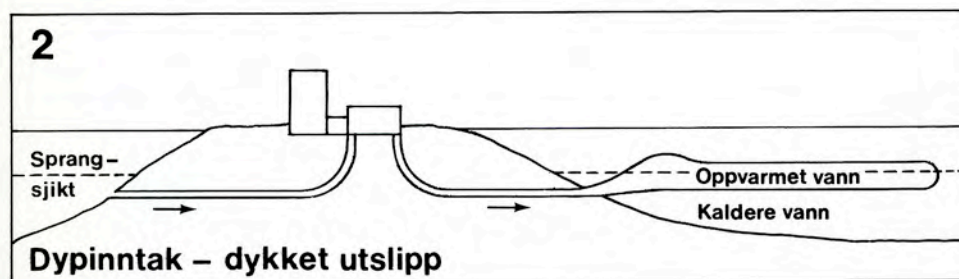
Kjølevannsarrangementer

Et kjølevannssystem kan prinsipielt arrangeres på fire forskjellige måter. Hvilket alternativ som velges, vil avhenge både av tekniske, økonomiske og miljømessige vurderinger. Generelt vil utslipp av kjølevann som holder seg i overflaten, påvirke mindre vannmasse, men forårsake temperaturstigning over et større område enn utslipp hvor vannet holder seg i dypere lag. I lagdelte resipienter vil dykkede utslipp eller overflateutslipp hvor vannets tetthet er større enn i vannet omkring, kunne innlagres under overflaten.

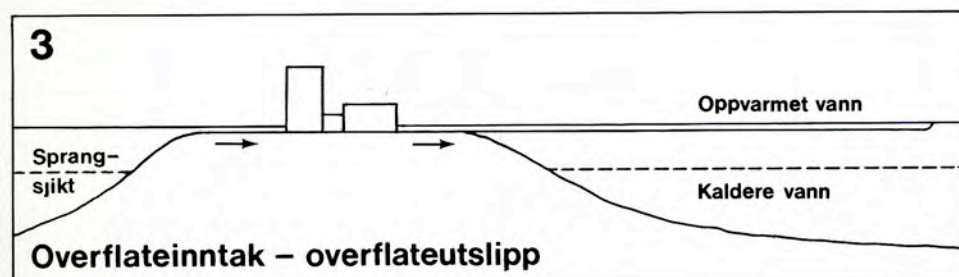


Skissemessig fremstilling av utslippsalternativer til en brakkvannssjiktet sjøresipient.

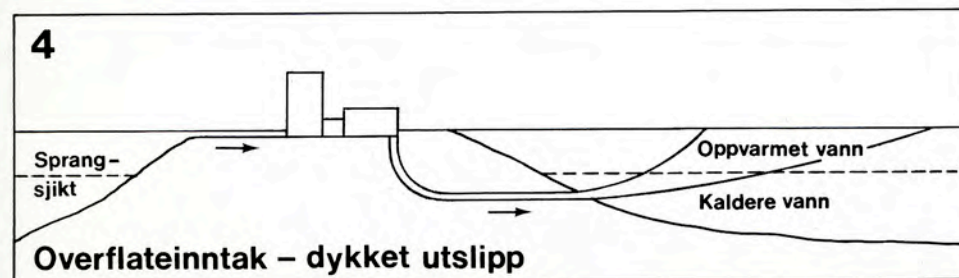
1. Dypinntak — overflateutslipp
Kjølevannet vil som regel synke fordi det på grunn av høy saltholdighet som ikke oppveies av den høyere temperatur, har større tetthet enn overflatevannet, og følgelig er overvektig.



2. Dypinntak — dykket utslipp
Kjølevannet vil som regel kunne innlagres under overflaten fordi den høye saltholdighet bevirker at oppdriften fra temperaturøkningen ikke er tilstrekkelig til å løfte utslippet gjennom overflatelaget.



3. Overflateinntak — overflateutslipp
Kjølevannet spres som et teppe i overflaten fordi oppdriften er stor på grunn av temperaturøkningen. Saltholdigheten i inntaks- og utslippsnivå er den samme.



4. Overflateinntak — dykket utslipp
Kjølevannet stiger mot overflaten på grunn av oppdriften. I dette tilfelle kan oppdriften ofte være meget kraftig fordi den lave saltholdigheten i inntaksvannet og oppvarmingen av kjølevannet medfører lav tetthet.

Tåkedannelse

Økt vanntemperatur i overflaten vil sannsynligvis medføre at antallet dager med tåke i året øker. En overtemperatur på 1 °C i vannoverflaten er beregnet å gi en økning i tåkehyppighet på 2-4 dager pr. år.

På grunnlag av statistiske data for luft- og vanntemperaturer og sannsynlighetsberegninger for tåkedannelse ved gitte luft- og vanntemperaturer har en foretatt en tilnærmet beregning av den sannsynlige økning i tåkehyppighet som følge av kjølevannsutslipp fra et varmekraftverk i Oslo-området.

Tåkedannelse er avhengig av en rekke meteorologiske forhold, og en beregning av tåkehyppighet er derfor meget usikker. De beregninger av økt tåkehyppighet som er gjort, må derfor betraktes som et forsøk på å kvantifisere fenomenet, og usikkerheten i resultatene er sannsynligvis meget stor.

Beregningene er gjort for representative temperaturøkninger i vannoverflaten. Hvor stort område som vil få en gitt temperaturøkning, er avhengig av bl.a. størrelsen av kraftverket og inntaks- og utslippsarrange-

mentet for kjølevannet. Beregningene bør derfor sammenholdes med hydrofysiske beregninger for et gitt alternativ.

Økningen i tåkehyppighet vil være sterkt influert av lokale forhold, med størst økning i innelukkede farvann med stor sannsynlighet for kaldluftdannelse. Temperaturøkninger i vannoverflaten på 1, 2 og 4 °C gir ifølge beregningene en økning i tåkehyppighet på henholdsvis ca. 4, 8 og 21 dager pr. år. Etter beregningene vil en temperaturøkning i vannoverflaten på 1 °C gi en økning på ca. 4 dager pr. år i indre Oslofjord og ca. 2 dager pr. år i ytre Oslofjord. Økningen i tåkehyppighet vil kunne bli noe større på steder hvor kjølevannsutslippet vil føre til at normal islegging hindres.

De beregnede økninger i tåkehyppighet er forventede middelværdier, og en må vente store variasjoner fra år til år.

Uten praktiske erfaringer med virkninger av kjølevannsutslipp, er det vanskelig å si hvor tett tåken kan ventes å bli, og hvor stor den vertikale og horisontale utstrekning blir. Generelt antar en at tåken horisontalt sett blir begrenset til kjølevannsstrømmens utbredelse. Tåkens tetthet vil variere fra lett frostrøyk uten praktiske problemer til relativt tett tåke som kan være til hinder for skipsfarten. Dette vil avhenge av de øvrige meteorologiske forhold, men det er ikke mulig å skille mellom disse tilfeller i beregningene.

Tåken eller frostrøyken vil når den består av underkjølte vanndråper, kunne medføre isdannelse på f.eks. veier og kraftledninger. En antar imidlertid at tåkedannelsen først og fremst vil forekomme i situasjoner med vindstille eller svak fralandsvind, og dette vil redusere sannsynligheten for isdannelse på land.

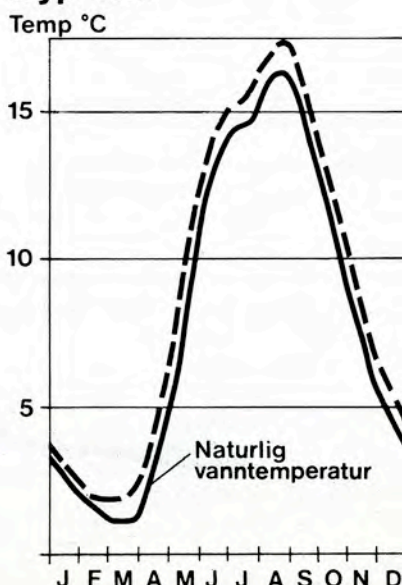
Langtidsendringer

Med langtidsendringer forstår en her de endringer i sjøens midlere temperatur og strømforhold som er en følge av utslipp av oppvarmet kjølevann over lengre tid. Kjennskap til slike endringer er nødvendig for å kunne bedømme eventuelle virkninger på resipientens økologi.

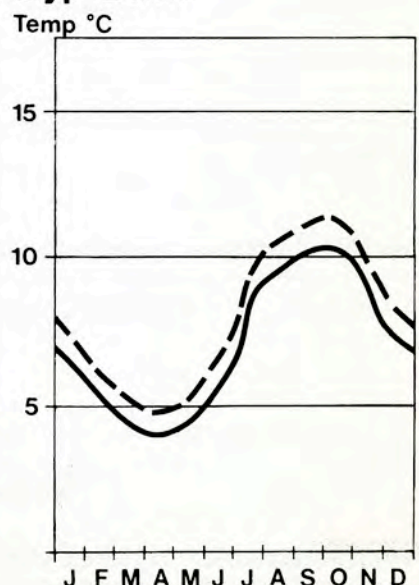
Et viktig hjelpemiddel for å kunne forutsi eventuelle langtidsendringer er numeriske (matematiske) modeller. Disse blir ofte svært kompliserte og har i regelen begrenset gyldighet. Resultatene av slike beregninger må derfor alltid vurderes i lys av de forutsetninger de har fremkommet under. Et eksempel på slike beregninger er vist i figuren. I beregningene er det antatt at ca. halvparten av spillvarmen fra et 4 000 MW varmekraftverk føres inn i en nesten innestengt fjord. Beregningene antyder de temperaturendringer en kan vente i et slikt tilfelle. Den tykke linjen viser hvordan temperaturen i et bestemt dyp varierer over året, uten påvirkning fra et varmekraftverk, mens den stiplede linjen viser temperaturen slik en venter den kan bli dersom det oppvarmede vannet føres inn i fjorden. Ved hjelp av beregningsresultater som vist kan en f.eks. vurdere sannsynligheten for at eventuelle biologiske temperaturgrenser vil overskrides etter at varmekraftverket er kommet i drift.

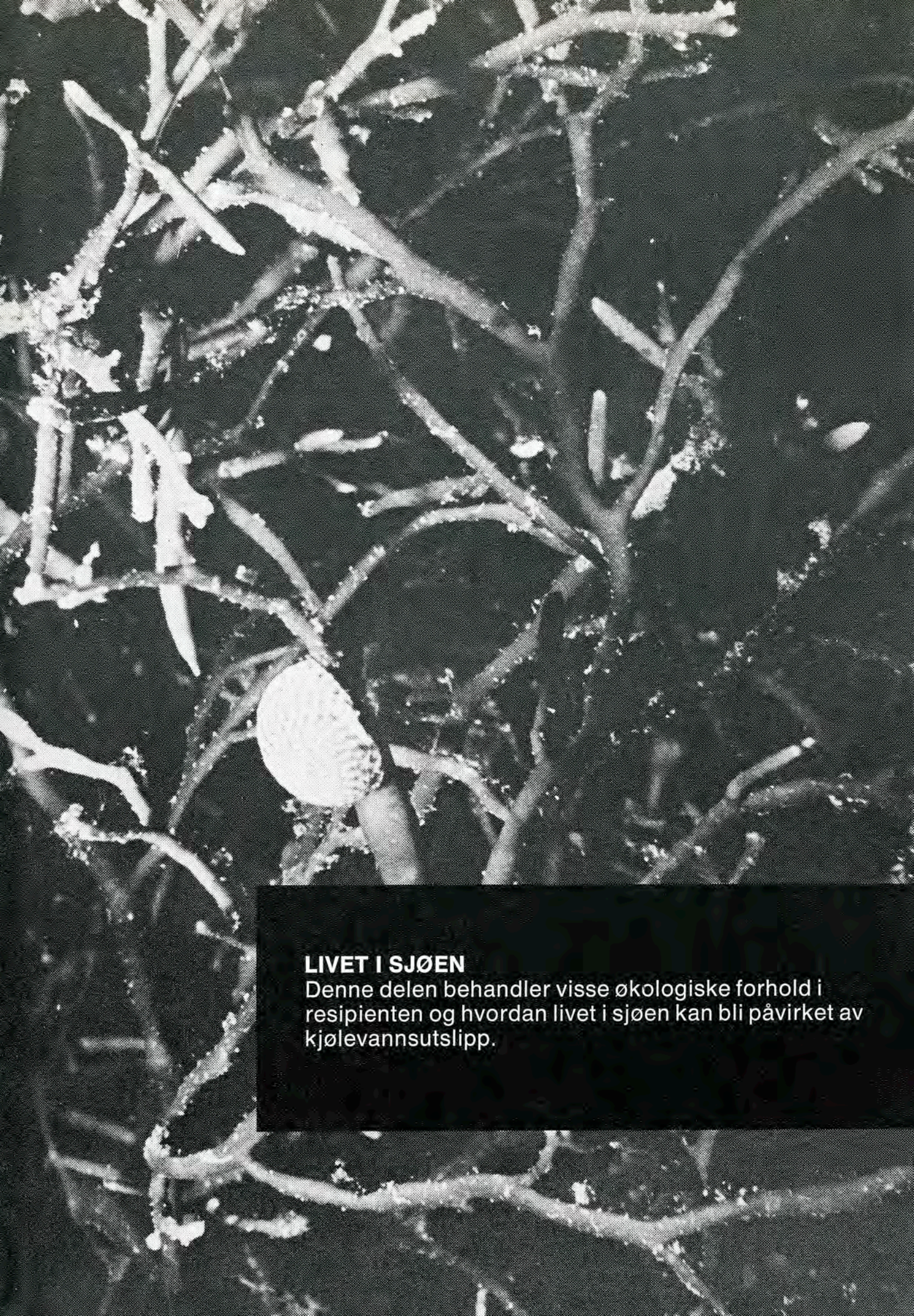
Eksempel på beregnet årlig temperaturforløp i en terskelfjord
--- med og
— uten tilførsel av oppvarmet vann fra varmekraftverket

Dyp 1 m



Dyp 20 m





LIVET I SJØEN

Denne delen behandler visse økologiske forhold i resipienten og hvordan livet i sjøen kan bli påvirket av kjølevannsutslipp.

Samspeilet i naturen

Utslipp av oppvarmet vann medfører endringer i livsvilkårene for artene i det berørte sjøområdet. Virkningene er mangeartede.

Næringskjeder

Alt liv på jorden er avhengig av solen, fordi sollyset er en forutsetning for plantenes fotosyntese og oppbygging av organisk materiale.

I havet skjer det meste av produksjonen av organisk materiale ved mikroskopiske planter — planteplankton — som lever svevende i de øvre vannlag. Planteplanktonet utgjør næringsgrunnlaget for dyreplankton og små bunndyr.

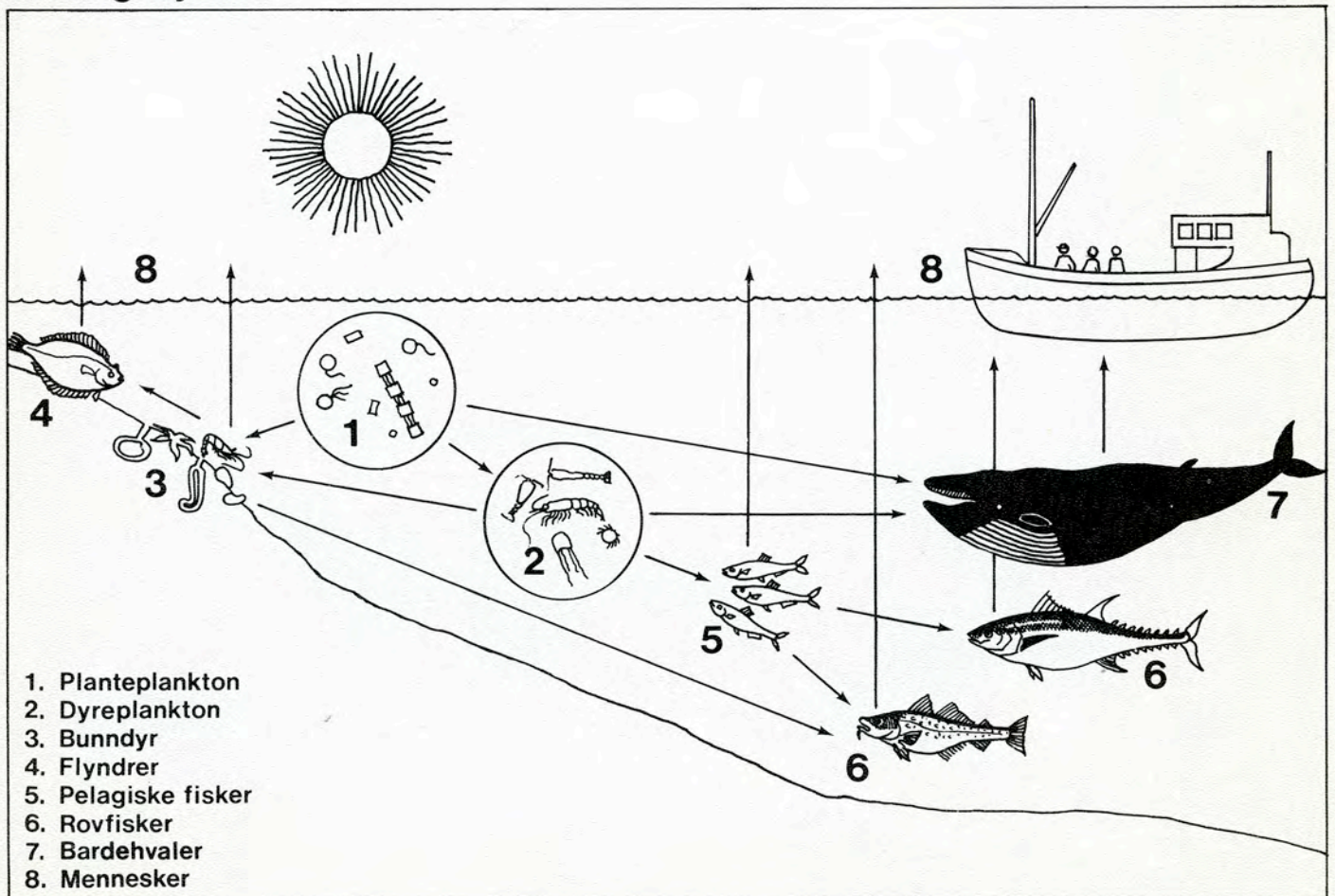
Dyreplanktonet blir spist av fisk og hval, eller av bunndyr. Både planktonspisende

fisk og hval blir fanget og spist av mennesker. En enkelt fiskeart kan imidlertid leve av mange forskjellige dyr og selv være næring for flere arter, f.eks. andre fiskeslag, hval, sjøfugl, mennesker. Næringskjedene er altså ikke isolerte, men bundet sammen i et komplisert næringsnett. Forandringer i ett ledd i en næringskjede vil medføre forandringer i det etterfølgende ledd i kjeden, ofte også i flere av de etterfølgende leddene.

Transport i næringskjeder

Bare ca. 10 % av maten utnyttes til å bygge opp organisk stoff hos dem som spiser den. Et eksempel på en enkel næringskjede er: Planteplankton — dyreplankton — bardehval — menneske. Hvis bare ca. 10 % kommer videre fra et ledd til det neste, er altså bare ca. 1 % av planteplankton-produksjonen tilgjengelig for mennesket i form av hvalkjøtt. Det samme gjelder for planktonspisende fisk som f.eks. sild, makrell og brisling, mens rovfisk som torsk og uer gir et utbytte på bare 1/10 % fordi næringskjeden har fått et ledd mere.

Næringskjeder



Forandringer i livsvilkårene

Flere forhold kan bidra til å forandre balansen i et økosystem. Her skal spesielt behandles noen eksempler på hvordan temperaturforandringer kan påvirke næringskjedene.

Temperaturen virker på alle fysiologiske prosesser, og en temperaturøkning innenfor visse grenser fører i alminnelighet til større omsetningshastighet. Temperaturen har innflytelse på artenes utbredelse og vil påvirke alle stadier i deres liv.

I ekstreme situasjoner kan arter utryddes. Sannsynligheten for dette er størst når spillvarmen blir tilført dyplagene der deler av faunaen er ømfintlig overfor temperaturendringer. 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 for 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 innen de organismesamfunnene som allerede finnes i området. Noen arter kan bli hemmet, mens andre kan bli stimulert av de endrede temperaturforhold.

Forandret klekkingstid

I Skottland er det i et bestemt område påvist en følge av termisk påvirkning som også kan tenkes å forekomme her hjemme i områder hvor forholdene er analoge.

Etter at kjølevann fra et varmekraftverk ble sluppet ut i området, inntraff klekkingen for en art krepsdyr på et tidligere tidspunkt enn før. Mesteparten av yngelen som lever av planteplankton, døde da av matmangel. Dette har følgende årsak:

Om våren er det gjerne en masseoppblomstring av planteplankton og medfølgende sverming av dyreplankton. Denne situasjon faller normalt sammen med klekkingen av flere dyrearter som derved får god tilgang på næring til yngelen.

Tidspunktet for oppblomstringen reguleres først og fremst av lystilgangen og ikke av temperaturen. Organismenes gytetid er bestemt av den gjennomsnittlige temperaturen i miljøet under modningen av eggene.

Normalt er det i sjøen en balanse mellom gyting og planktonblomstring, men varierende værforhold om våren kan forskyve planktonblomstringen med mulige virkninger på rekrutteringens suksess. Høyere temperatur medfører tidligere gyting og kan resultere i at yngelen vil opptre før planktonveksten gir det nødvendige næringsgrunnlag. Dette kan medføre at en så stor del av en bestand dør at denne arten vil bli utryddet i dette området. På grunn av den intime forbindelsen mellom de forskjellige organismer i næringskjedene vil dette forplante seg videre og kan f.eks. få betydning for et områdes fiskeressurser.

Strandområdene

En temperaturøkning kan føre til forandringer i strandområdets vegetasjon. Også forandringer i dyrelivet på bunnen er tenkelig. Temperaturen påvirker sammensetning, forekomst og utbredelse av plante- og dyrelivet i sjøen.

Nærsone-effekter

Ved utslipp av kjølevann som påvirker overflatelaget, må en regne med påvirkninger på organismesamfunnene i nærliggende strandområder. Forsøk med alger fra fjærelaget tyder f.eks. på at selv en liten temperaturøkning (2-4°C) vil begünstige enkelte arter av grønnalger som er vanlige i strandsonen ved våre kyster.

Forsøkene som ble utført av Norsk institutt for vannforskning, gikk ut på å etablere algevekst i renner som ble gjennomstrømmet av sjøvann med forskjellig temperatur. Det viste seg at i den renne som hadde samme temperatur som sjøen, dominerte en forholdsvis sjelden bunnalge mens

i en renne hvor vannet var oppvarmet 5°C, dominerte den mere alminnelige grønnalgen.

Erfaringer fra utlandet har vist at forekomstene av blåskjell øker i nærheten av et kjølevannsutslipp. Blåskjell forekommer langs hele kysten og er, sammen med alger, en viktig begroingsorganisme. Det er også kjent at forekomsten av treborende organismer, f.eks. pelemark, øker når vannets gjennomsnittstemperatur blir hevet.

Bade- og båtsteder

En heving av vanntemperaturen på en badebasseng med rent vann er gunstig både for utnyttelsen under normal sesong og for

forlengelse av badesesongen. Er vannet forurenset, kan derimot temperaturstigningen gi mindre gunstige effekter i form av øket algevekst. En kombinasjon av god næringstilførsel og øket temperatur kan føre til en masseutvikling av alger, vannet «blomstrer» (se side 20). Dette kan også være et problem ved båtsteder, ettersom dette innebærer øket groing under vannlinjen.

Sanddrift

Den høye strømhastigheten i utløpet kan føre til utgraving av løsmasser — sanddrift. Dette må en ta hensyn til ved utforming og plassering av utløpet.

Forurensingsbelastning

I områder der organismene allerede lever under stress, kan visse arter bli utsatt for tilleggstress ved temperaturforandringer.

Forurensing

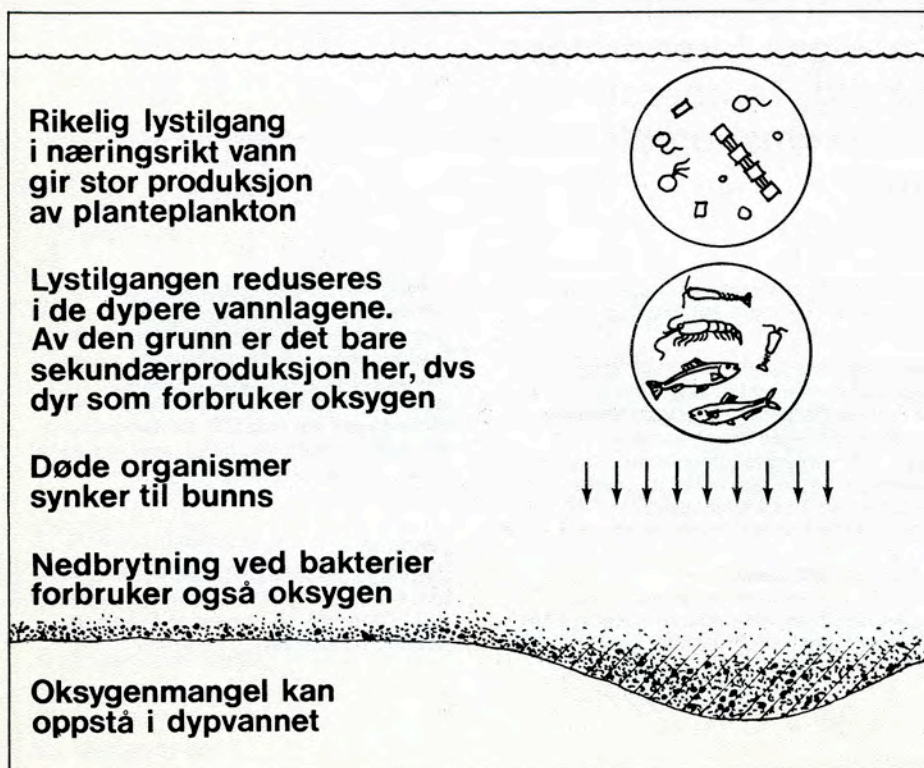
De vanligste forurensingssymptomer i norske fjordområder er resultatet av en eutrofiering som skyldes tilførsel av for mye plantenæringsstoffer til vannet. Denne gjødslingen — på grunn av kloakkvann og annet avløpsvann — kan medføre en masseutvikling av alger. Nedbrytningen av det organiske stoffet som derved blir produsert, krever oksygen.

Hvis algeproduksjonen er tilstrekkelig stor, vil avsetningene av organisk materiale øke, og nedbrytingsprosessen kan føre til at oksygenet i bunnvannet forbrukes. Oksygenfritt vann gir ikke eksistensmuligheter for høyere former for liv. Enkelte bakterieformer kan dog fortsette nedbrytningen slik at en får dannet hydrogensulfid (H_2S) og «råttent vann».

Når vannets temperatur stiger, øker hastigheten av biologiske prosesser, og bl.a. kan algeproduksjonen bli høyere. Under visse forhold kan man følgelig risikere økt belastning på dypvannets oksygenreserve. Hvorvidt, og i hvilken grad dette kan skje, vil avhenge av tilførselen av gjødselsstoffer som ofte er den begrensende faktor. I et område hvor en ønsker å plassere et varmekraftverk, bør en derfor begrense tilførselen av forurensninger for å hindre at slike situasjoner oppstår.

Kombinasjon av stressfaktorer

I forurensete brakkvannsområder lever de fleste organismer under stress av en eller flere typer. Artsantallet i områder med stress vil være redusert i forhold til antallet i upåvirkede områder, men den totale mengde levende organismer kan være like stor eller større. Den flora og fauna som er etablert i slike områder, er gjerne begrenset til arter med stor fysiologisk tilpasnings-evne. Dette gjelder også deres forhold til temperatursvingninger og forurensning hvor de hjemmehørende arter er tilpasset de store svingninger slike miljøer byr på, mens tilførte marine eller ferskvannarter vil måtte leve på grensen av sitt toleranse-område. De sistnevnte arter vil trolig være sterkt utsatt for tilleggstress som en temperaturforhøyelse på grunn av utslipp av oppvarmet vann vil medføre.



Overproduksjon (eutrofiering) i forurenset vann

Hvordan organismen påvirkes i kjølevannskretsen

En del av de planktonorganismer som trekkes inn i kjølevannskretsen, vil bli ødelagt.

Kjølingen av et varmekraftverk skjer ved hjelp av store vannmengder som pumpes gjennom anlegget. Rister og siler hindrer fisk og større gjenstander i å komme inn i systemet. De fleste planktonorganismer, både planter og dyr, er for små til å bli festsilt. De vil bli pumpet gjennom kjølevannskretsen og bli utsatt for mekaniske påkjenninger, temperatursjokk og eventuelle stoffer som tilsettes kjølevannet for å hindre begroing. De organismer som på denne måten ødelegges, kan lokalt påvirke bestanden og forårsake at den for enkelte arters vedkommende blir redusert. Dersom arten er et viktig næringsgrunnlag for visse fiskearter som vi nyttiggjør oss, kan forandringen få følger for tilførselen av disse fiskearter.

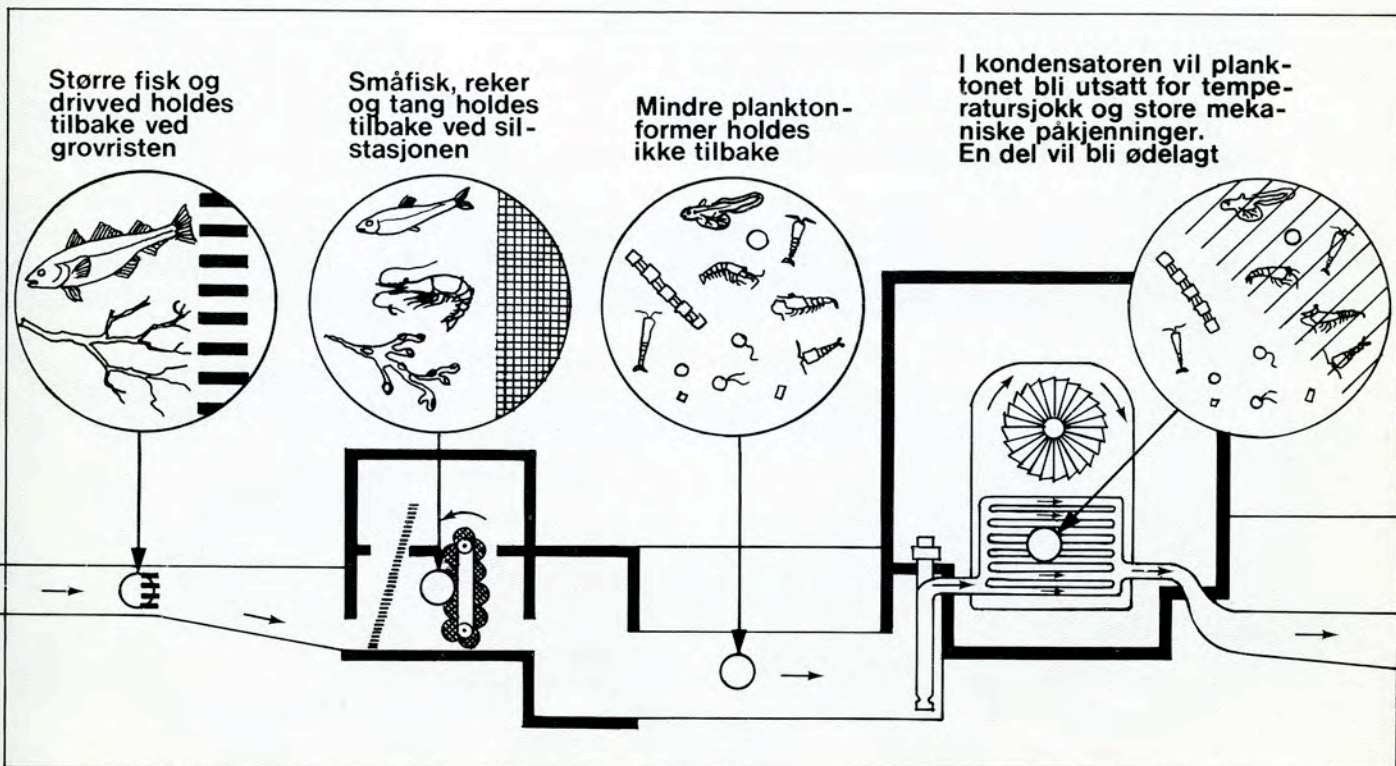
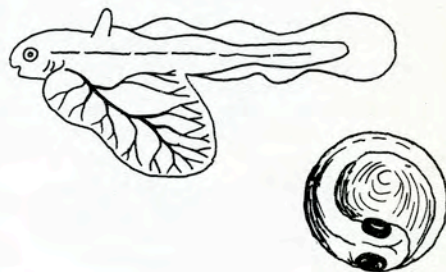
Større planktonorganismer vil være mere utsatt for de mekaniske påvirkninger i kjølevannssystemet enn de mikroskopiske arter. Egg og yngel fra en del fiskearter er relativt store og samtidig temperaturømfintlige og kan ventes å bli påvirket av de mekaniske og termiske forhold. De store planktonorganismer finnes særlig i overflatelaget.

Ved å plassere kjølevannsinntaket på et hensiktsmessig dyp kan en unngå å påvirke de store konsentrasjoner av planktonorganismer i overflatelaget.

Mindre stimfisk som f.eks. småsild og brisling, kan — etter de erfaringer en har f.eks. fra USA — skape problemer ved at de blir sugd inn i systemet. Ved hensiktsmessige tekniske innretninger er det imidlertid mulig å unngå dette.

Hvis kjølevannsinntaket plasseres nær utløpet av en elv eller ved en trang fjord hvor det går yngel fra laks eller sjøaure, kan det være fare for at slik yngel på vei ut mot havet kan trekkes inn i kjølevannskretsen og bli ødelagt. Dette vil det bli tatt hensyn til ved lokaliseringen av varmekraftverk, og vanligvis vil ikke slik plassering være aktuell her i landet. For øvrig kan risikoen også her reduseres ved hjelp av hensiktsmessige tekniske innretninger.

Fiskeegg og yngel kan ventes å bli mer påvirket enn andre planktonorganismer



Fiskerinæringen

Temperaturen er en av de viktigste av de miljøfaktorer som bestemmer fiskeartenes utbredelse og hvilke arter en finner på de ulike steder. De fleste arter gyter bare i et begrenset temperaturintervall, og de er særlig følsomme i utviklingsstadiene.

Optimal vekst og aktivitet skjer innen et betydelig snevrere temperaturområde enn det område den enkelte art kan tåle. Fisk kan ved akklimatisering tilpasse seg en høyere eller lavere temperatur enn normalt, men de er følsomme for temperaturveksling. De er istand til å føle meget små temperaturforskjeller. Det er størrelsen og varigheten av temperaturendringene som har betydning for artenes reaksjon. Store og raske temperaturendringer kan være meget skadelige.

Det er naturlig å regne med at både antall arter og mengden av fisk vil forandres i et nærrområde for utslipp av kjølevann fra et varmekraftverk. Denne antagelse er bekreftet bl.a. av svenske og amerikanske undersøkelser. Visse arter vil trekke seg lenger vekk, andre vil samle seg i større mengder, alt etter den enkelte arts temperaturkrav med hensyn til stoffskifte, aktivitet, næringstilgang, fordøyelse, gyteområde etc. Temperaturen er en meget komplisert miljøfaktor som samvirker med en rekke andre miljøfaktorer som saltholdighet, oksygeninnhold, lys, ernæring m.fl. Av denne årsak kan det være vanskelig å avgjøre hvilken betydning temperaturen alene har for fiskens utbredelse, trivsel, forplantning og vekst.

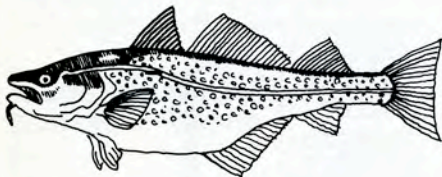
Enkelte utviklingsstadier av fiskeegg og yngel er meget temperaturfølsomme, slik at temperaturen stort sett er den viktigste av de faktorene som bestemmer grensen for artens utbredelse. Temperaturen har en sterk innvirkning på eggens modning og utvikling. Det er særlig to faktorer som bestemmer gytingens suksess — temperaturforhold under gyting og klekking og synkronismen av planktonblomstringen og gytingen.

Torsk og sild på gytevandring søker områder der temperaturen ligger på ca. 4-8°C. Den øvre dødelige grense for eggene er i området ca. 11-16°C. Den voksne fisken tåler betydelig høyere temperaturer, men ikke over 20-24°C i lengre tid. De nevnte temperaturområder er sannsynligvis dekkende for de fleste av våre vanlige matnyttige fiskearter, men det finnes flere viktige unntak. Makrellen er en mer varmekjær fisk med egg som kan tåle opp mot 20°C, og voksen skrubbe har kunnet tåle temperaturer nær 30°C i kortere perioder. Laks og sjøaure på vei inn mot elvene for å gyte, ser ikke ut til å la seg hindre av eventuelt utslipp av oppvarmet kjølevann utenfor elvemunningen eller i fjorden. Dette gjelder også ålens vandringer. I forbindelse med planene om bygging av

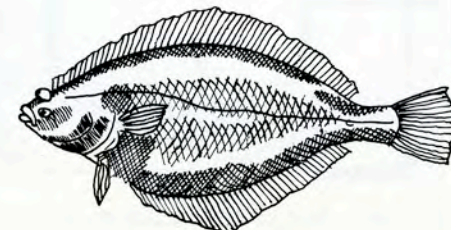
varmekraftverk ved våre kyster har Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt i Bergen med Statens biologiske stasjon i Flødevigen tatt opp spesielle felt- og laboratoriestudier av temperaturens betydning for fiskeartenes trivsel, vekst, forplantning og fordeling.

Ulike fiskearter er ulike temperaturfølsomme

Torsk og sild foretrekker vann med lav temperatur under gytingen - ca 4-8°C - men kan ellers tåle betydelig høyere temperatur

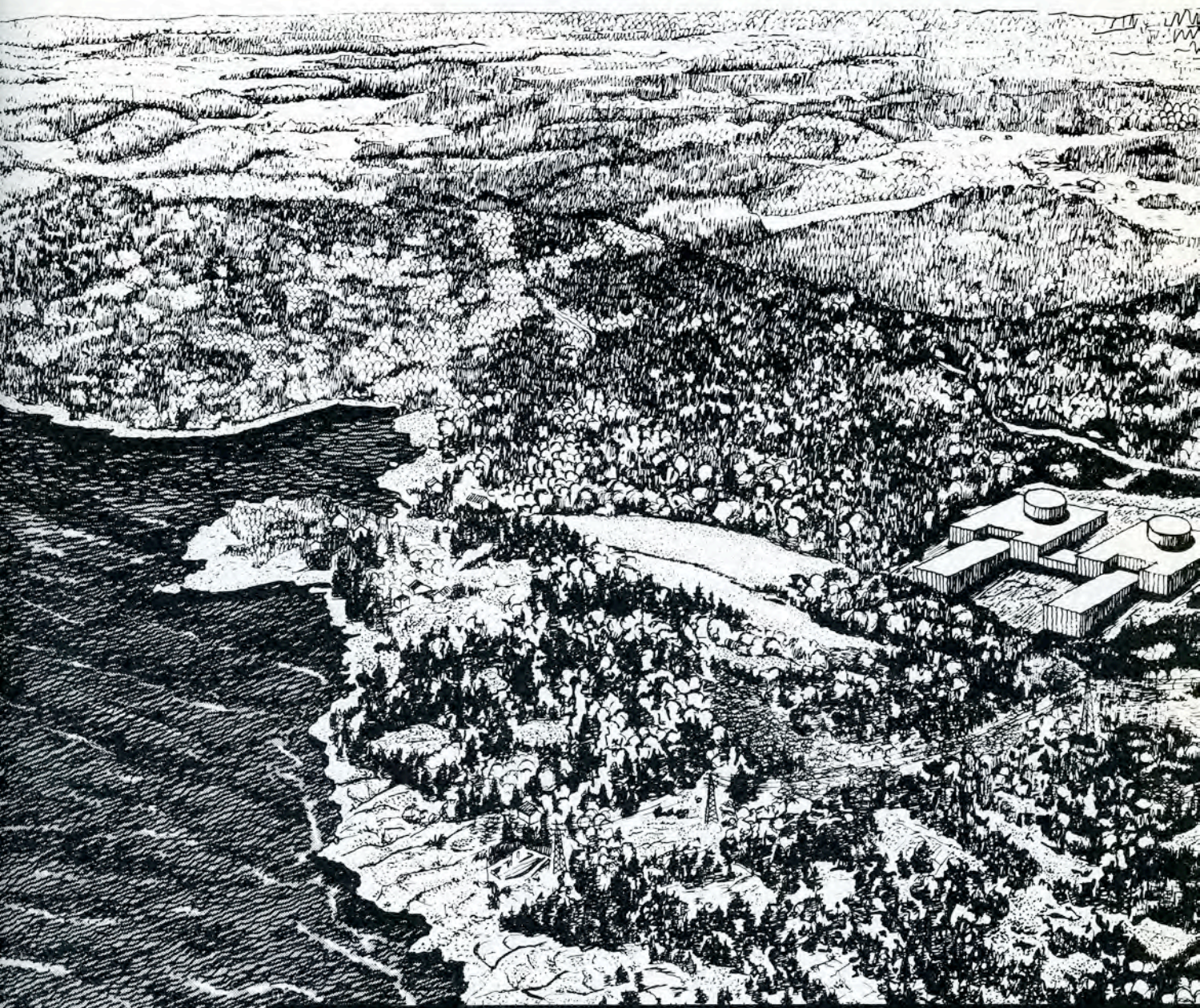


Makrell og skrubbe er mere varmekjære fisker som kan tåle relativt høy temperatur, også under gytingen



De s.k. vandringsfiskene laks, sjøaure og ål ser ikke ut til å la seg hindre i gytevandringene av ev. kjølevannsutslipp





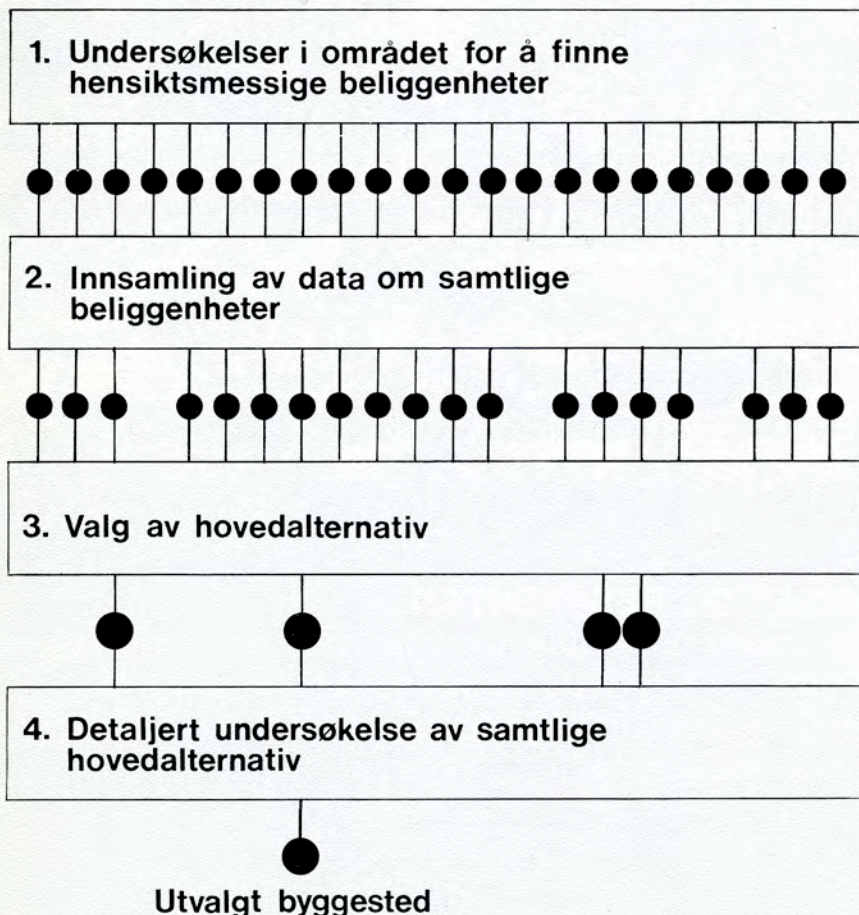
KJØLEVANNET OG RESIPIENTEN

Denne del handler om hvilke faktorer ved resipienten som en bør ta hensyn til ved valg av byggested for et varmekraftverk og om hvordan ulempene ved bruk av kjølevann kan reduseres.

Lokalisering

Lokalisering av varmekraftverk ut fra resipienthensyn baseres på mange forskjellige kriterier. Generelt gjelder det at en velger områder der påvirkningene blir små. Kan kjølevannet ha positive effekter, bør selvfølgelig disse søkes utnyttet.

Lokaliseringsarbeidets 4 faser



Ved lokalisering av varmekraftverk må en ta hensyn til mange forskjellige faktorer. Resipientforholdene er bare ett av de områdene som må studeres for at man skal komme frem til en plassering som er hensiktsmessig ut fra de fleste synspunkter.

Det er ingen selvfølge at den beste plassering med hensyn til resipienten er identisk med den totalt sett beste lokaliseringen. Alle faktorer må vurderes og ses i sammenheng med hverandre.

En detaljert beskrivelse av lokaliseringsmetodikken er gitt i skriftet «Lokalisering av kjernekraftverk i Oslofjordområdet». Her vil det bare bli gitt et kortfattet sammendrag med spesiell vekt på de deler som angår resipienten.

Lokaliseringsarbeidet kan inndeles i 4 faser

1. Undersøkelser i området for å finne hensiktsmessige beliggenheter

I den første fasen søker man etter egnede lokaliseringalternativ, basert på oversiktlige beskrivelser av visse lokaliseringfaktorer. Lokaliseringfaktorene med hensyn til resipienten er:

Topografi
kystlinje
dybdeforhold

Forurensning
kjemisk
biologisk

I denne fasen er undersøkelsene hovedsakelig basert på kart og draft, opplysninger vedrørende resipienten fra regionale og kommunale planer og planutkast, samt andre eksisterende utredninger.

2. Innsamling av data om samtlige beliggenheter

I den andre fasen undersøkes samtlige lokaliseringalternativ av faggrupper som

representerer sakkunnskap innen forskjellige fagområder. På grunn av det store antall lokaliseringalternativ må undersøkelsene i denne fasen bli relativt grove og generelle. De er i første rekke basert på eksisterende materiale, på erfaringer fra utlandet og på generelle kunnskaper som støtter seg på begrensede undersøkelser i feltet. Gruppene utelukker en del av lokaliseringalternativene ved enkle sammenligninger.

3. Valg av hovedalternativ

Ved sammenligning og vurdering av samtlige utredninger utvelges visse alternativ — hovedalternativ — som er bedre egnet enn de andre. Ved vurderingen anvendes visse kriterier som anses som spesielt viktige for bedømmelsen. Kriteriene har ulike vekt ved bedømmelsen.

4. Detaljert undersøkelse av samtlige hovedalternativ

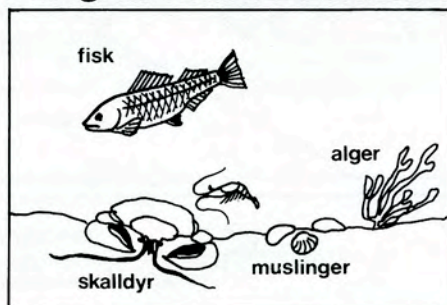
Et begrenset antall alternativ — hovedalternativene — studeres mer nøyaktig. I denne fasen kreves det vanligvis utstrakte feltundersøkelser (1-2 år), modellforsøk (fysiske eller matematiske) og eksperimentelle undersøkelser. Forskjellige plasseringer og utforminger av kjølevannsinntak og -utslipp må studeres for å gi best mulig grunnlag for vurdering av påvirkningen på resipienten.

erer vesentlig, og at tilbakestrømning av oppvarmet utslippsvann til inntaket unngås.

En rask fortykning og temperaturreduksjon i nærsone forutsetter tilgang på tilstrekkelige mengder «upåvirket» vann i området. Vurderinger av netto vanntransport står av den grunn sentralt i resipientundersøkelser. Lagdelingen er viktig på grunn av dens betydning for kjølevannets eventuelle innlagringsnivå. Utslippets dominerende transportvei fra utløpsstedet samt eventuelle muligheter for opphoping av avløpsvarmen

er også viktige faktorer ved resipientvurderinger. I sterkt trafikerte områder bør en søke å unngå forverring av navigasjonsforholdene ved økt tåkedannelse eller påvirkning av strømforholdene i trange farvann. Videre bør varmekraftverket legges slik at ikke de høye strømhastighetene i utslippsområdet medfører utgraving av løsmasse. Ved valg av byggested bør en også ta hensyn til muligheten for en eventuell fremtidig utvidelse.

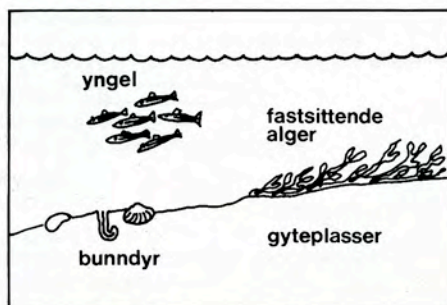
Eksempler på kritiske områder, som bør unngås ved lokalisering av varmekraftverk



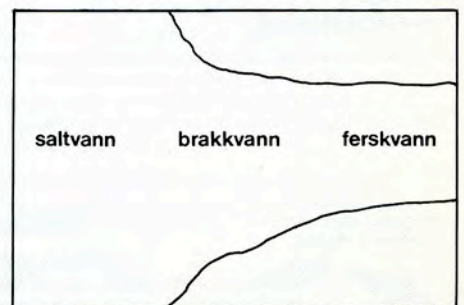
Fiskeressurser



Vandringsveier for småfisk



Produksjonsområder



Forurensede brakkevann- og fjordområder

Fysisk/kjemiske vurderingskriterier

Forurensning (korrosjons- og begroingsfare)

Strøm

Lagdelling

Tåkedannelse

Utgraving av løsmasser

Under driften av kraftverket må en til enhver tid ha tilgang på tilstrekkelige mengder kjølevann av brukbar kvalitet (korrosjons- og begroingsfare). Det er ønskelig at inntakstemperaturen ikke vari-

Hvordan ulempene kan reduseres

Tilførsel av store mengder oppvarmet kjølevann fra et varmekraftverk kan medføre en belastning på resipienten. Vi skal her se på hvordan ulempene ved bruk av kjølevann kan reduseres.

Begrenset varmetilførsel

Et fjordområde som benyttes til å forsyne et varmekraftverk med kjølevann og til å ta imot det oppvarmede kjølevannet, vil bli påvirket av den tilførte varmemengde. Jo større varmemengde som tilføres fjordområdet, jo større blir påvirkningen. For hvert byggestedsalternativ bør det vurderes hvor store varmemengder fjordområdet kan belastes med. En kan ikke uten videre forutsette en lineær sammenheng mellom skadevirkninger og varmetilførsel. Skadevirkninger er ofte betinget av terskelverdier.

Tekniske anordninger ved inntak og utslipp

Inntaket

Generelt bør inntaket utformes slik at inntakshastighetene ikke blir større enn at organismer med egenbevegelse har mulighet til å overvinne inntaksstrømmen. Vanligvis nyttes skjermer og/eller filtere ved inntaket for å hindre større fisk og ting i å komme inn i inntakskanalen. Det har vært foreslått å nytte forskjellige inntaksdyp sommer og vinter. Tanken er da at en ved å plassere inntaket så dypt som mulig om sommeren kan redusere innsuging av plankton og fiskeyngel som på denne årstid

holder seg i de øvre vannlag. For å skåne de organismene som overvintrer i dypet, bør inntaksdypet ved denne årstid da plasseres nær overflaten. Gjennomførbarheten og eventuelle uønskede virkninger av en slik løsning er imidlertid ikke klarlagt. Ved hensiktsmessig utforming av inntaket slik at f.eks. sjikttingsforholdene i området utnyttes best mulig, har en også mulighet til å redusere resirkulasjonen med inntak og utslipp.

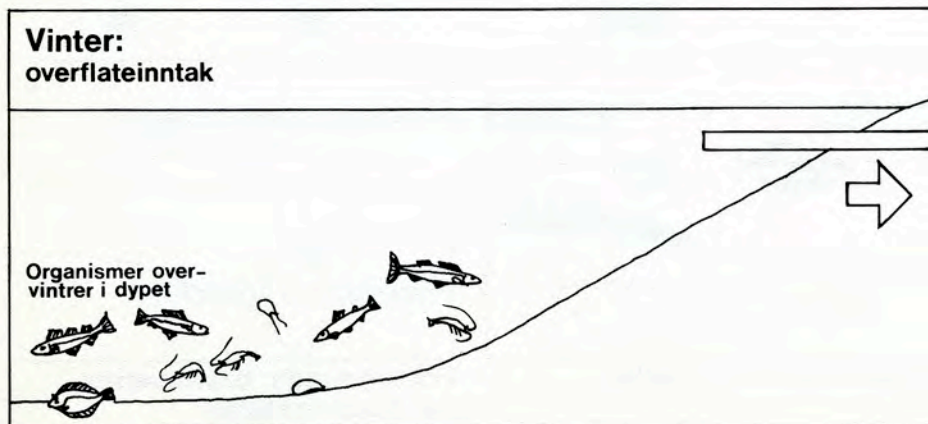
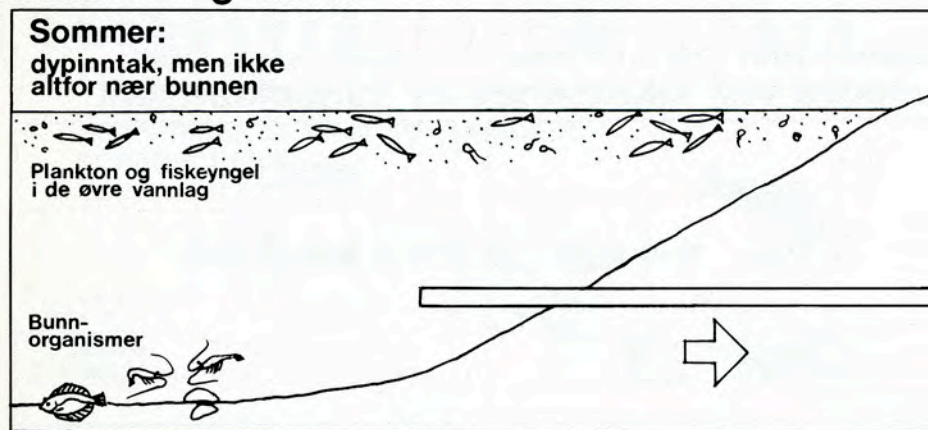
Utløpet

Fordi sprednings- og fortynningsforløpet i nærsonen avhenger sterkt av utslippsgeometrien bør utløpets konstruktive utforming nøye vurderes for hvert enkelt byggestedsalternativ. Prinsipielt kan en søke å utforme utløpet enten slik at kjølevannets fortykning i nærsonen blir stor, hvilket medfører at relativt store vannvolum påvirkes av utslippsvarmen, eller at kjølevannets fortykning i nærsonen blir liten og dermed de påvirkede volum i resipienten mindre. I det siste tilfellet vil imidlertid overtemperaturene i nærsonen bli større. For undervektige overflateutslipp (alt. 3 på side 15) vil under ellers like forhold eksempelvis en økning i utslippskanalens dybde eller bredde føre til redusert fortykning, mens en økning i utslippshastigheten vil ha det motsatte resultat. For dykkede utslipp vil et utslipp fordelt på flere avløpsporter forventes å gi en raskere fortykning av kjølevannet enn ett enkelt avløp. Dermed vil f.eks. et utslipp som med ett avløp ikke innlagres under overflaten (alt. 4 på side 15) kunne innlagres hvis et diffusor-avløp (dvs. mange avløpsporter) benyttes.

Stedsvalg

I hvilken grad et kjølevannsutslipp vil påvirke resipienten i ugunstig retning vil avhenge av byggestedets geografiske plassering. Generelt vil virkningene bli mindre følbare i åpent kystfarvann enn i en innelukket fjord. Utslipp i områder hvor en allerede har andre påvirkninger, f.eks. av ferskvann sammen med kloakkutslipp, vil kunne være ugunstigere enn utslipp i upåvirkede områder.

Foreslått forskjellig inntaksdypde sommer og vinter



Ordlister

1 MW (megawatt) =
1 000 kW (kilowatt) — enhet for effekt.

1 TWh (terawatttime) =
1 000 GWh (gigawatttime) =
1 000 000 000 kWh — enhet for energi.

1 GWh (gigawatttime) =
1 000 000 kWh (kilowatttime) — enhet for energi.

MWe —
den elektriske effekt et kraftverk yter.

MWt —
den termiske effekt som utvikles i
kjelen eller reaktoren for et varmekraftverk.

Aquakultur —
dyrking av organismer (dyr og planter)
i vann.

Biologi —
læren om levende organismer og deres
forhold til omgivelsene.

Eutrofiering —
utvikling mot et miljø rikt på plantenærings-
stoffer og preget av høy planteproduksjon.

Fauna —
dyreliv.

Fotosyntese —
plantenes dannelse av organisk stoff ut fra
enkle, uorganiske forbindelser ved hjelp av
sollyset som energikilde.

Fysiologi —
læren om den normale livsvirksomhet hos
de levende vesener og deres organer.

Gassturbinanlegg —
varmekraftverk fyrt med gass eller olje, der
forbrenningsgassene driver turbinen.

Hydrofysikk —
brukt generelt om vannmassenes bevegelse
samt deres fysiske og kjemiske egenskaper.

Hydrogen —
vannstoff.

Hydrogensulfid (H₂S) —
svovelvannstoff.

Hydrografi —
beskrivelse av vannmassenes fysiske og
kjemiske egenskaper.

Kondenskraftverk —
varmekraftverk der damp driver turbinen og
kondenseres ved lavt trykk (vakuum) etter
å ha gått igjennom denne.

Kraftvarmeverk —
varmekraftverk som produserer både
elektrisitet og varme (i form av damp eller
varmt vann).

Mottrykksverk —
det samme som kraftvarmeverk.

Oksygen —
surstoff.

Resipient —
mottaker av avfallsstoffer eller spillvarme,
for eksempel en fjord.

Termisk —
varme —

Topografi —
detaljert beskrivelse av større eller mindre
deler av jordoverflaten, terrengforholdene
innen et bestemt område.

Varmekraftverk —
kraftverk der energikilden er varme, som
kan skaffes ved forbrenning av olje, gass
eller kull eller ved spalting av atomkjerner.

Virkningsgrad —
den del av varmeeffekten som blir om-
gjort til nyttig effekt, f.eks. til mekanisk
eller elektrisk effekt, f.eks. forholdet
MWe/MWt.

Økologi —
opprinnelig studiet av organismenes forhold
til omgivelsene. Dette kalles nå autoøkologi.
Den behandler de enkelte **artenes** reaksjon
på miljøfaktorer, både de levende (biotiske)
og de fysikalsk-kjemiske (abiotiske). Den
delen av økologien som behandler **sam-
funnene**, kalles synøkologi. Samfunnene er
ikke statiske, men endrer seg både ved at
de fysikalsk-kjemiske faktorene endrer
miljøet, og ved at organismene ved sin
aktivitet selv endrer det.

En spesiell form for økologi er system-
økologi som er studiet av **økosystemenes**
oppbygning og funksjon.

Økosystem —
samingen av organismesamfunn og det
omgivende miljø. Et økosystem kan være
lite, f.eks. en putt, eller stort, som f.eks.
havet.

Verdigrønningen kan reduseres

Utarbeidet av NVE's informasjonskontor og Statskraftverkene
i samarbeid med Vassdrags- og havnelaboratoriet ved NTH (VHL),
Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Fiskeridirektoratets
Havforskningsinstitutt (HFI) og Samfunnsteknikk VBB A/S.

Utarbeidet av
NVE's informasjonskontor og
NVE - Statskraftverkene varmekraftavdeling
i samarbeid med
Vassdrags- og havnelaboratoriet ved NTH (VHL),
Norsk institutt for vannforskning (NIVA),
Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt (HFI) og
Samfunnsteknikk VBB A/S.

Tilrettelagt av:
NVE - Statskraftverkene hustrykkeri

Trykt hos
F. Beyer, Bergen

Opplag: 10.000 eks.

ISBN 82-554-0025-7

**NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIDIREKTORAT**



72035940

NVE informerer om kjølevann fra varmekraftverk

Oslo 1975