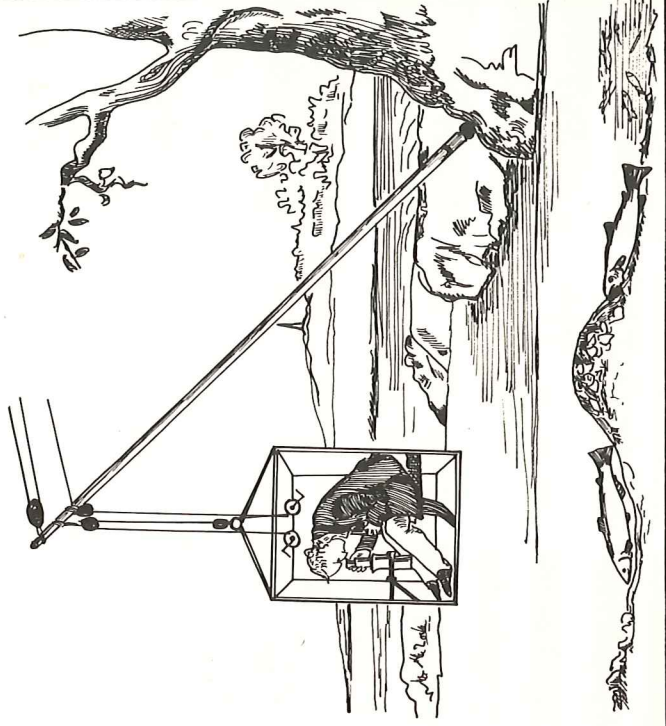


INFORMATION

från SÖTVATTENSLABORARIET, DROTNINGHOLM

Nr 1. 1971

FISK OCH VARMVATTEN
av
Lennart Nyman



Fisk och varmvatten

av

Lennart Nyman

1. Introduktion	2
2. Skiktning – syrgas – radioaktivitet	3
3. Toleransgränser och acklimatiseringsproblem	5
4. Överlevnad av ägg och yngel	7
5. Relationen temperatur – tillväxt, produktivitet, aktivitet	8
6. Förändringar i artbalansen och migrationsstörningar	9
7. Metoder att studera migrationsförändringar	12
8. Smittorisker och toxiska effekter	13
9. Möjligheter att ekonomiskt utnyttja varmvattenutsläpp	14
10. Slutord	16

1. Introduktion

I och med att kärnkraften framkommit som ett konkurrenskraftigt alternativ bland kraftförsörjningssystemen har den ekologiska debatten tillförsatt ett ämnesområde, som både på grund av sin komplexa natur och nära anslutning till aktuella miljövärdproblemen har stora förutsättningar att enhålla hög prioriteringsgrad under en lång följd av år. Ett av de viktigaste delproblemen inom denna ämnesfår berör den direkta och indirekta inverkan på vår fiskfauna, som de enorma kvaniteterna kylvattnen från dessa atomkraftverk skulle få. För att studera effekterna kan vi dra stor nytta av erfarenheter från de nordliga delarna av USA, som geologiskt och klimatologiskt nära anknyter till vårt land, och där kärnkraftverk och andra typer av reaktorläggningar varit i drift under många år. Om utvecklingsfakten inom denna sektor i vårt land skulle få ett likartat förlopp som i USA, med en projekterad procentuell sju-dubbling av kärnkraftverkens andel av ångkraftproduktionen från 1969 till 1980, finns all anledning att snabbt söka utrona de negativa och positiva effekter, som kan väntas i våra recipienter.

Det är enorma vattennmassor som krävs för kylning av ett normalstort kärnkraftverk. Som exempel kan tas det planerade kraftverket i Forsmark i norra Roslagen, som fullt utbyggt med fyra reaktorer skulle få en effekt av drygt 3000 megawatt. För kylningen av denna enhet fordras ett konstant vattenflöde av 150-200 m³/s, ungetår motvarande medelvattnenföringen i Klarälven. Om man betänker att denna vattenström vid utsläppet skulle ha en temperatur, vilken med 10 grader överstiger recipientens, inser man vilken effekt på främst det akvatiska ekosystemet som skulle erhållas. Huvudfrågorna kommer alltså att gälla hur stora områden som kommer att påverkas av denna varmvattenström, och på vilket sätt.

Snyder, G.R.

Discussion - Heat and anadromous fishes.- I 'Biological aspects of thermal Pollution', Krenkel & Parker, Vanderbilt Univ. Press, 318-377.

Steffens, W. 1970.

Warmwasseraufzucht von Speisekarpfen (*Cyprinus carpio* L.) in Netzkäfigen. - Z. Fischerei 18 (1-2): 1-13.

de Sylva, D.P. 1969.

Theoretical considerations of the effects of heated effluents on marine fishes. - I 'Biological aspects of thermal pollution', Krenkel & Parker, Vanderbilt Univ. Press, 29-293.

de Sylva, D.P., F.A. Kalber and C.N. Shuster, Jr. 1962.

Fishes in the shore zone and other areas of the Delaware river estuary. Inf. Ser. Univ. Delaware, Publ. (5): 1-164.

Tatarko, K. I. 1968.

The effect of temperature on the meristic characters of fishes. - Transl. Am. Fish. Soc. (Problems of Ichthyology) 8(3): 339-350.

Thurrow, F. 1959.

Über Fangerräge und Wachstum des Aales in der westlichen Ostsee. - Z. Fischerei 597-626.

Taning, Å.V. 1952.

Experimental study of meristic characters in fishes. - Biol. Rev., Cambridge, 27: 169-193.

Verhoeven, L. 1969.

Diskussionsinlägg till 'Heat and freshwater fishes: Britain', p. 378, I 'Biological aspects of thermal pollution', Krenkel & Parker, Vanderbilt Univ. Press.

Whurmann, K. & H. Woker 1953.

Contributions to the toxicology of fish. VIII. The toxicity to fish of solutions of ammonia and cyanide at different oxygen tensions and temperatures. - Schweiz. Z. Hydrol. 15: 235.

Eftersom vatten vid ökad temperatur har reducerad förmåga att binda syrgas samtidigt som algproduktionen främjas, kan man i viss mån betrakta varmvattenutsläpp som en eutrofieringspåskyndande faktor. I näringsrika recipienter får således ett varmvattenutsläpp en inverkan liknande en organisk förorening, därav termen "thermal pollution".

I det oerhört komplexa integrerade system som ett akvatiskt ekosystem utgör är det praktiskt taget omöjligt att renodla effekter som direkt kan knytas till en höjning av vattentemperaturen. Den troligen mest iögonenfallande effekten torde bli en omfördelning av de närvarande fiskarterna efter deras respektive temperaturtolerans och preferens, där de stenoterma kallvattenfiskarna först påverkas och i sista hand de euryterma av typ braxen och sutare. Vid ökande förorening är det normalt också fiskarna som först får stryka på foten och sist växtplankton.

Utöver de rent temperaturberoende omfördelningarna av fiskarterna kommer en rad indirekta faktorer som t.ex. förändringar i syrgaskoncentration, tillförsel av toxiska substanser och påverkan på de lägre trofiska nivåerna, av vilka fiskarna är beroende för sin föda.

Här nedan ges en översikt över vissa av de delproblemen som berör varmvattenutsläpps påverkan på fisksfaunan. Trots att de flesta hör intimt samman har författaren sökt gruppera dem för att erhålla en bättre överblick.

2. Skiktning – syrgas – radioaktivitet

Då utsläppt kylvatten normalt har lägre specifik vikt än recipientens får man en skiktning i vattenmassan med kylvattnet lagrat i ytan. Denna typ av utsläpp hindrar blandning av de två vattenlagren, och kommer sålunda att avstänga syrgastransporten till det undre skiktet. Detta leder i sin tur till en accelerering av syrgasbristen med alla dess negativa effekter på faunan. Den omvända situationen där man söker nå en fullständig blandning av utsläppsvatten och recipient, innebär en spridning av det varmare vattnet till hela vattenmassan varvid sker en minskning av vattnets förmåga att hålla syrgas, samtidigt som vi erhåller en ökad biologisk aktivitet med ökat syrgasbehov. Vi ser här direkt att bägge systemen kommer att påverka fisksfaunans sammansättning. I det första fallet kommer arter med höga syrgaskrav, vilka samtidigt ofta är kallvattenstenoterma och följaktligen håller till i det undre skiktet, att bli negativt påverkade. I det andra

Leiner, M. 1932.
Die Entwicklungsdauer der Eier des dreistacheligen Stichlunghs in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur. - Z. ver. Physiol. 16: 590-605.

Lloyd, R. & D.W.M. Herbert 1962.
The effects of the environment on the toxicity of poisons to fish. - J. Inst. Publ. Health Eng. 132(July): 132-145.

Mantel'man, I.I. 1958.
Distribution of the young of certain species of fish in temperature gradients. - Izv. vses. nauchno-essled. Inst. ozern. rechn. ryb. Kohz. 47(1): 1-63. Fish Res. Bd. Can., Transl. Ser. 257.

Mihursky, J.P. 1969.
Citerad på sid. 270 i artikel av de Sylva (1969).

Mihursky, J.A. & V.S. Kennedy 1967.
Water temperature criteria to protect acuatic life. - Am. Fish. Soc., Spec. Publ. 4:20-32.

Nakatani, R.E. 1969.
Effects of heated discharges on anadromous fishes. - I 'Biological aspects of thermal pollution', Krenkel & Parker, Vanderbilt Univ. Press, 294-317.

Naylor, E. 1965.
Effects of heated effluents upon marine and estuarine organisms. - Adv. Mar. Biol. 3: 63-103.

Ogilvie, D.M. Andersson 1965.
Effect of DDT on temperature selection by young Atlantic salmon, *Salmo salar*. - J. Fish. Res. Bd. Can., 22(2):503-512.

Orska, J. 1956.
The influence of temperature on the development of the skeleton in teleosts. - Zoologica Polon. 7(3):272-325.

Sewage Industrial Wastes 1956.
"Heat - A New Pollutant". 28:705.

exemplet har de kallvattenstenoterma arterna ingen nisch med kallt vatten, och trots tillgången på syrgas torde de få svårt att konkurrera med den övriga fiskfaunan. Vilken typ av utsläpp man bör eftersträva för att söka bevara den ursprungliga fiskfaunan blir beroende av lokala topografiska förhållanden, men rent generellt torde den första typen med ytiskt utsläppsvatten vara att föredra, eftersom värmeemissionen sker snabbare från ett koncentrerat vattenlager. Den direkta begränsande faktorn blir här huruvida det undre kalla vattenskiktet kan tillföras syrerikt vatten genom lokala strömningsförhållanden och därvid vara lämpat för såväl stenoterma kallvattenfiskar som euryterma. I grunda, begränsade inlandsvattnen med ringa vindeffekt och obetydliga djupströmmar torde dock även ytutsläppet få en markant negativ effekt på kallvattenfaunan.

Exempel på hur fisk har reagerat på minskad syrgashalt i samband med utsläpp av varmvatten är mångfaldiga. Fiskdöd i Grand River (Michigan, USA) kunde direkt hänföras till att temperaturstegringen på 5,5 grader, i ett redan tidigare starkt förorenat vattendrag, ökade nedbrytningshastigheten till den grad att nästan total syrebrist uppstod (Sewage Industrial Wastes 1956). Henley (1952) observerade att överlevnaden av torsk, sill och flundra starkt påverkades av syrgasförhållandet på embryonalstadiet.

Ett annat problem berör det läckage av radioaktiva avfallsämnen (bl.a. i form av kärnklyvningsprodukter) som genom kylvattnet tillföres recipienten. Trots höggradig kontroll är det ännu tekniskt omöjligt att helt undandra kylvattnet från dessa avfallsprodukter och därmed finns viss risk för anrikning av radioaktiva ämnen på alla trofiska nivåer inklusive fisk och därigenom mänskliga (Foster & Nelson 1961).

I syfte att studera eventuella genetiska skadeverkningar på fisk vid extern exponering av radioaktiva nukleider har utförts försök med kronisk gammastrålning från en koboltkälla (Co 60) på chinooklax (Donaldson & Bonham 1970). Bestrålningen utfördes på embryonalstadiet och vid en bestrålningdos av 0,5 röntgen/dag märktes inga skadeverkningar på de adulta fiskarna i form av morfologiska deformationer eller vandringsrubbingar. Faran är här att dra slutsatser efter studium av förlädragenationen, eftersom man får anta att "normala" egenskaper är polygent nedärva. Negativa rubbingar i arvsmassan maskeras därvid av normala alleler, och först efter åtskilliga generationer av fri genkombination torde skadeverkningar av den dimension att vi kan upptäcka dem erhållas. Vid fiskodlingar där man alltid använder ett begränsat antal föräldrar för att säkerställa en hel population sker alltså en icke önskvärd inavel med en snabbare utklyvning av negativa effekter som följd.

Doudoroff, P. 1969.

Discussion - Thermal needs: freshwater fishes. - I 'Biological aspects of thermal pollution,' Krenkel & Parker, Vanderbilt Univ. Press, 148-151.

Evropeyzeva, N.V. 1944.

Preferred temperature of fish larvae. - Dokl. Akad. Nauk SSSR 423: 138-142.

Foster, R.F. & I.C. Nelson 1961.

Evaluation of radiological conditions in the vicinity of Hanford, April-June 1961. - U.S. AEC report HW-70552. Office of Technical Services, U.S. Department of Commerce, 25 pp.

Fry, F.E.J. 1967.

Responses of vertebrate poikilotherms to temperature. - I 'Thermobiology', A.H. Rose, Acad. Press, 375-409.

Henley, E. 1952.

"The influence of the gas content of sea water on fish and fish larvae. - Rapp. P.-v. Réun. Cons. Pem. Int. Explor. Mer, 1931: 24-27.

Hoar, W.S. 1956.

Photoperiodism and thermal resistance of goldfish. - Nature 178(4529): 364-365.

Hynes, H.B.N. 1963.

The biology of polluted waters. - I 'Heat, salts and pollution of lakes,' Liverpool Univ. Press, 136-145.

Jensen, A.J.C. 1961.

Die Schwankungen des Aalbestandes und der Aalfischerei in den dänischen Küstengewässern. - Z. Fischerei 10(8-10): 635-641.

Kinne, O. & E.-M. Kinne 1962.

Rates of development in embryos of a cyprinodont fish exposed to different temperature-salinity-oxygen combinations. - Can. J. Zool. 40: 231-253.

Blaxter, J.H.S. 1956.

Herring rearing. II. The effect of temperature and other factors on development. - Mar. Res. 5: 19 pp.

Brett, J.R. 1956.

Some principles in the thermal requirements of fishes. - Q. Rev. Biol., 31(2): 75-87.

Bull, H.O. 1937.

Studies on conditioned responses in fishes. Part VII. Temperature perception in teleosts. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 21(1): 1-27.

Calderón, E.G. 1965.

The raising of brown trout and rainbow trout in water at high temperatures. - Stud. Rev. gen. Fish. Coun. Medit.(FAO) 30: 33 pp.

Colby, P.J. & L.T. Brooke 1970.

Survival and development of lake herring (*Coregonus artedii*) eggs at various incubation temperatures. - I' Biology of Coregonid fishes, Lindsey & Woods, Univ. of Manitoba Press, 417-428.

Craigie, D.E. 1963.

An effect of water hardness in the thermal resistance of the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. - Can. Jour. Zool. 41(5): 825-830.

Dannevig, H. 1894.

The influence of temperature on the development of the eggs of fishes. - Rep. Fishery Bd., Scotl., 13: 147-153.

Donaldson, L.R. & K. Bonham 1970.

Effects of chronic exposure of chinook salmon eggs and alevins to gamma irradiation. - Trans. Am. Fish. Soc. 1:112-119.

Doudoroff, P. 1942.

The resistance and acclimatization of marine fishes to temperature changes. I. Experiments with *Girella nigricans* (Ayers). - Biol. Bull. Mar. Biol. Lab., Woods Hole 83: 219-244.

3. Toleransgränser och aklimatiseringsproblem

Ett välbekant fenomen är fiskars förmåga att orientera sig efter temperaturgradienter. Tonfisk, t.ex. kan "spåras" med termometer, då man vet att de samlar sig inom ett temperaturintervall på 2-3 grader (de Sylva 1969). Denna förmåga samt fiskars rörlighet är de främsta orsakerna till att fiskdöd försakad av direkt värmechock så sällan uppmärksamats i naturen. Ett av dessa tillfällen har beskrivits från Trent i England (Alabaster & Downing 1966). Här steg temperaturen en sommar på tre timmar från 30,5 till 36,5 grader vid utsläppet. Endast smärre fiskar dog och det antogs att större fisk genom sin rörlighet kunde undvika värmechocken. Vid Hanfordanläggningen vid Columbiafloden i Washington, USA, har man inte noterat någon fiskdöd vid reaktorutsläppen varken i utplacerade kassar eller vid insamlingar i olika fångstanordningar (Nakatani 1969). Om man däremot överflyttar sina försöksdjur till laboratorieförhållanden och inte ger dem någon möjlighet att undfly värmen erhålles drastiska resultat (Snyder 1969). Om fiskar som var aklimatiserade till en normal flodtemperatur av 15,5 grader utsattes för en värmechock av 32 grader varmt vatten — ett vanligt förhållande vid själva utsläppet vid Hanford — så dog samtliga fiskar inom loppet av 10 till 60 sekunder. Tidsintervallet var beroende av fiskens ålder och art och unga individer av laxfiskar (*Oncorhynchus*) var mest känsliga. Vad denna värmedöd beror på är omstritt, men irreversibla förändringar av enzymstrukturer och skador på nervsystemet är troliga faktorer (för en mer ingående diskussion se Fry 1967). Det är följaktligen på ägg och embryonalstadiet som fiskarna är mest utsatta för verkningarna av värmechock, dels genom dessa stadiers orörlighet, dels på grund av att temperaturlösligheten är ytterst begränsad och slutligen genom att temperaturen för optimal embryonalutveckling hos de flesta fiskarter ligger betydligt under det temperaturintervall där fisken normalt trivs. Utanför detta snäva intervall sker feldelningar hos cellerna med deformation och förhöjd mortalitet som följd. Den optimala temperaturen för normal embryonalutveckling växlar hos skilda arter, och är givetvis lägst hos de stenoterma kallvattenfiskarna som t.ex. lake, lax, öring, sik och siklöja. Colby & Brooke (1969) visade att siklöjan *Coregonus artedii* krävde en temperatur inom området 2-8 grader för normal embryonalutveckling, och dessutom att siken *Coregonus clupeaformis* hade ett ännu lägre intervall. Laken t.ex. är så stenoterm på yngelstadiet att redan en temperaturhöjning över + 3 grader vore ödestiger. Då de euryterma arterna gädda, gös, braxen och mört kan kläcka normalt vid över 20 graders vattentemperatur är det således tydligt att lekområden frekventerade av den första gruppens arter måste slås ut i närheten av varmvattenutsläppen.

Viktigare än att experimentellt bestämma toleransgränser för olika arter torde dock vara att utreda inom vilka temperaturintervall som fisken optimalt lever, för endast genom denna kunskap kan man spåra långtidseffekter av en temperaturhöjning. Den av fisken föredragna temperaturzonen ligger vanligen väsentligt lägre än letalgränsen, men även här är det stora skillnader mellan djursamhällena i olika klimatregimer. De tropiska fiskarna t.ex. lever vid en temperatur som med endast ett par grader understiger letalgränsen. Här skulle givetvis varmvattenutsläpp få katastrofala följder för de berörda populationerna, och då dessutom kyvattnet skulle ha en temperatur som närmar sig gränsen för högre organiskt liv, skulle inga nya fiskarter kunna träda in i de gamla ställe. I arktiska områden skulle de flesta adulta fiskar ha möjlighet att överleva en temperaturhöjning av den storleksgrad det här är frågan om, den begränsade faktorn i detta fall blir ägg och yngelstadiet, liksom i vårt klimat.

Ytterligare en viktig faktor i detta sammanhang rör acklimatiseringstiden. Som inledningsvis påtalades är temperaturchocker ödesdigra för de flesta arter. Vid långsam acklimatisering däremot, kan adulta fiskar anpassas till betydande temperaturhöjningar. Skillnaden mellan dessa två förlopp har på ett utmärkt sätt skildrats av Alabaster i hans försök med fisk i temperaturgradienter. Vid långsam acklimatisering är 30 grader slutgiltigt letal för lax och öring, 33,5 för mört och åtminstone 35 för sutare. När man däremot överförde fisk direkt från floden till utsläppsvatten av ca 10 grader högre temperatur dog alla öringar och de flesta mörtar och abborrar inom 24 timmar, men under samma tidsrymd ingen karp eller sutare. Alabaster visade också att abborre som fångats nedströms utsläppet levde 140 minuter när de placerades i burar i varmvattenpnylmen, medan abborrar som fångats uppströms i genomsnitt levde bara 48 minuter. En gradvis höjning av temperaturen medför sålunda inte bara en ökad förmåga hos fisk att överleva extremt höga temperaturer utan minskar dessutom deras möjlighet att utvärda låga temperaturer. Detta torde kunna ha stor effekt under vintern när fiskar som acklimatiserats till en hög temperatur i ky/vattenutsläppet utsätts för en snabb temperatursinkning, t.ex. om driften temporärt upphör (Alabaster 1969—Doudoroff 1942). Man har också belägg för att fiskar, som acklimatiserats till en hög temperatur i ett varmvattenutsläpp varit oförmögna att överleva när de lämnat varmvattenområdet. En annan faktor som kan spela in vid toleransförskjutningar är t.ex. salthalt. Craigie (1963) visade att regebnägslox fick ökad temperaturtolerans om salthalten i testvattnet ökades. Fotoperiodens längd tycks också ha betydelse: guldfisk har visat sig mer motståndskraftig mot temperaturchocker när fotoperiodens längd ökades från 8 till 16 timmar per dygn (Hoar 1956). Ett sådant samband torde ha intresse vid diskussion av letalgränser under olika årstider.

Literatur

- Alabaster, J.S. 1969.
Effects of heated discharges on freshwater fish in Britain. - I 'Biological aspects of pollution', Kenkel & Parker, Vanderbilt Univ. Press, 354-370.
- Alabaster J.S. & A.L. Downing 1966.
A field and laboratory investigation of the effect of heated effluents on fish. - Fishery Investigations, M.A.F.F. London, Serie 1, volym VI 4:42 pp.
- Alexander, W.B.A. Southgate and R. Bassindale 1935.
Survey of the river Tees. Pt. II. The Estuary - Chemical and biological. - Technical paper, Water Pollution Res., H.M.S.O., London 5.
- Ali, M.A. 1964.
Über den Einfluss der Temperatur auf die Geschwindigkeit der rethomotorischen Reaktionen des Lachses (Salmo salar). - Naturwissenschaften 51: 471.
- Anonym 1970.
Waste heat conference. - SFI Bull. 214: 1-4.

migrationen av ål är direkt positivt korrelerad med temperaturen. Det är väl också här som de ekonomiskt mest betydelsefulla insatserna kan göras - att söka utrona mekanismerna bakom och räckvidden av dessa anlockningar, samt studera möjligheterna att utnyttja kylvattnet i syfte att i odling dels påskynda tillväxten hos fiskar som lax och öring dels eventuellt intensivuppföda portionsfisk till säljbar storlek.

De fakta som här framförts tycks tyda på att lokalisering av kärnkraftverk, med nuvarande kylteknik, borde förläggas till kusterna samt, fast mer tveksamt, till större oligotrofa vattenmagasin. Sjösystem av eutrof prägel borde ej belastas med större mängder kylvatten av ovan anförda skäl.

Hur hög temperaturökning tål då en "normal" recipient i vårt klimat? En finger-visning kan fås om man ser till de riktlinjer som uppställts av den federala administrationen för vattenföreningskontroll i USA (FWPCA).

"I nordliga delar av landet, i kalla sjöar och större vattendrag, samt i strömmar och sjöar på högre nivåer i de sydliga och andra delar av landet (vilka klimatologiskt står våra vatten nära) får temperaturen maximalt aldrig överstiga 28-30 grader, med den lägre temperaturen reserverad för de kallare strömmarna. Maximala temperaturer inom detta intervall bör inte tillåtas för en längre tid än sex timmar inom varje dygn. ... Öringvatten i inlandet, laxförande älvar, öring- och laxförande sjöar samt de sjöars hypolimnion som har bestånd av laxfiskar bör ej värmas upp av kylvatten. Inga utsläpp bör förekomma i närheten av lekområden (för laxfiskar) och vintertemperaturen i salmonidförande vatten bör inte stegras över 13 grader. Större kalla älvar, vilka används som vandringsvägar av lax och med stationär öring bör bibehållas vid temperaturer som är gynnsamma för produktion (av de ifrågakvarande fiskarterna)."

Vissa av dessa normer kan givetvis diskuteras men ger i alla fall en föreställning om hur experter på akvatisk biologi i USA ser på problemet fisk contra varmvatten.

Summary:

The above paper is meant to illustrate and discuss some of the alterations of the aquatic ecosystem produced by the heated effluents of nuclear power plants. Main interest is devoted to effects on fish populations. Examples of the various aspects and problems encountered are taken mainly from American and British literature.

4. Överlevnad av ägg och yngel

Som tidigare nämnts har ägg och yngel både en snävare temperaturlöslighetsområde och krav på betydligt lägre vattentemperatur än den adulta fisken. Detta medför att dessa stadier är de känsligaste för de flesta fiskarter vad förändringar i temperatur anbelangar. Många forskare har emellertid påvisat att fiskägg utvecklas snabbare vid höjd temperatur (Dannevig 1894). Denna snabbare utvecklingstakt når dock snart ett kritiskt värde, där varje ytterligare temperaturstegring medför stopp i utvecklingen och total mortalitet. Detta fenomen gäller inte bara vid långvarig exponering, utan även korta temperaturchocker kan ha ödesdiger verkan på romutvecklingen, med avstannande utveckling, patologiska förändringar eller mortalitet som följd (Kinne & Kinne 1962). Att även smärre skillnader i temperatur kan ha betydelse på embryonalstadiet förstås då man vet att t.ex. kotantalet hos många arter är korrelerat med temperaturen under embryonalstadiet.

Fiskyngel är relativt selektiva i sina näringsanspråk. Om deras presumtiva näringsdjur p.g.a. temperaturhöjningen skulle kläckas för tidigt finns risk för långtgående verkningar, med tanke på att överlevnaden under den första månaden är av största betydelse för framgången hos en årsklass. Om en sådan tidigareläggning av bytesdjurens kläckning försöks mot senvintern finns faktiskt också en risk att imagines skulle frysa ihjäl och på sikt även medföra en ändring av insektsfaunan. Det omvända förhållandet kan naturligtvis också uppkomma, där fisken kläcks för tidigt så att deras bytesdjur ej är tillgängliga. Denna negativa effekt på ynglens överlevnad skulle dock till en del motverkas av att fiskarnas bytesdjur normalt är mer temperaturlösliga, så att även om något bytesdjur skulle slås ut torde andra lätt kunna inta dess plats i näringskedjan över hela det temperaturregister som fisk kan tolerera. Många undantag från regeln om bytesdjurens tolerans finns dock och det har rapporterats att fiskar befunnit sig väl vid en temperatur av 30 grader medan deras stapelföda, i detta fall en pungräka, hade letalgränsen vid 28 grader (Mihursky & Kennedy 1967). Vissa arter av zooplankton lever också inom snäva temperaturgränser och andra viktiga bytesorganismer av planktonisk och bentisk ursprung är relativt stenoterma, speciellt saltvattensformer. Att sådana indirekta effekter skulle ha betydelse för fiskynglens överlevnad inses ytterligare mot den bakgrunden att evertebraterna har ännu mindre möjlighet än fiskyngeln att undfly en brant temperaturgradient, speciellt naturligtvis de sessila formerna.

Måttliga temperaturhöjningar ger i allmänhet upphov till goda årsklasser av både marina och sötvattensarter av fisk, troligen beroende på effektiva näringssök p.g.a. ökad aktivitet samt ökad tillgänglighet av bytsdjur. Detta gäller t.ex. så skilda arter som lax, torsk och sill. En ström av varmvatten får således i princip samma effekt som en varm vår och torde ha möjlighet att lokalt ge upphov till rika årsklasser av en rad fiskarter. En sådan utveckling komplicerar situationen eftersom det skulle bli en ökad näringskonkurrens bland ynglen, vars sluteffekt är svår att förutse.

Olikheter i tolerans för extrema grupper inom arter med utdragen lektid kan medföra forskjutningar i lektid för hela beståndet. Ett exempel på detta lämnas från Columbiaflodens lax (sockeye) (Nakatani 1969). Den del av populationen som leker redan i oktober får en stor del av sin rom förstörd vid en temperaturökning av endast 2 grader, medan de som leker i december lägger rom som tolererar ända upp till 6 graders värmetillskott. Dessa undersökningar visar att man kan släppa ut mer kyvatten under senhösten och vintern samt att det sker en selektion som i detta fall gynnar de sent lekande fiskarna.

Förnåga att reagera för temperaturförändringar anläggs tidigt hos fisk. Termoreceptorer fungerar redan den första dagen efter kläckningen hos lake (Evroyevzeva 1944), och post-embryonala stadier av stillahavs-lax och regnbågslax reagerar snabbt på temperaturförändringar (Mantel'man 1958). Däremot har de nykläckta ynglen vanligtvis en nedsatt förnåga att metaboliskt svara på denna förändring, vilket leder till att de försvagas eller dör. 7

5. Relationen temperatur — tillväxt, produktivitet, aktivitet

Ju högre vattentemperatur desto snabbare metabolism hos fisken och desto större mängd föda krävs för att bibehålla en konstant vikt. Detta innebär att vid en relativt låg temperatur kan fisken inte bara bibehålla sin vikt utan även i viss mån tillväxa på ett litet födotillskott. D.v.s. den s.k. födoomvandlingseffektiviteten är god. Vid högre temperaturer, som i och för sig är optimala för apitv och tillväxt, skulle samma begränsade föda troligen vara för knapp för att ens bibehålla kroppsvikten konstant, än mindre tillåta någon tillväxt. Detta innebär att när födan inte är obegränsad, så kan det hända att fisken inte visar någon tillväxt alls vid sin s.k. optimala temperatur, d.v.s. födoomvandlingseffektiviteten sjunker mot noll.

Som exempel på denna regel kan nämnas en del akvarieförsök. Unga sockeye-laxar (*Oncorhynchus*) som gavs obegränsat med föda växte bäst vid 15 grader och tillväxten sjönk vid både högre och lägre temperaturer (Brett, Shelbourn &

Vissa orsakssammanhang framstår emellertid som relativt oemotsägda och kan utgöra grunden för en rationell bedömning av hur varje enskild recipient torde reagera för ett varmvattenutsläpp. Klart är att många forskningsresultat ej kan direkt importeras, utan att varje särskilt fall måste behandlas efter sina topografiska, hydrologiska och klimatologiska förhållanden, samt, inte minst viktigt, efter den speciella artsammansättning av fiskfaunan (och givetvis den lägre faunan) som kännetecknar de olika ekosystemen. Bland de viktiga samband som kännetecknar en recipients förändring med stigande temperatur finns t.ex. det faktum att de kemiska reaktionerna och därmed basmetabolismen fördubblas för var tionde grads temperaturökning, vilket innebär ett fördubblat behov av syre samtidigt som vattnets förmåga att hålla syrgas minskar. Höga temperaturer är direkt letala för de flesta ägg och yngelstadier. Yngel och småfisk har reducerade möjligheter att undgå en skarp temperaturgradient, medan större fiskar, som är mer mobila, kan undfly faran.

Ökade vattentemperaturer leder till strukturförändringar och migrationer av fiskstim, dels genom attraktion eller repulsion dels genom ändrat predatortryck. För studier av rubbningar av artbalansen torde biologiska länkar eller övervakningsnät ge en god bild, medan migrationsförändringar bäst torde studeras genom en kombination av ett flertal metoder som belyser både påverkan på enstaka individ samt mer storskalig — på fiskpopulationer som helhet. Hos de adulta fiskarna kan det generellt sägas att ostkustens brackvattenformer är mer toleranta mot temperaturförändringar än de rent marina arterna på västkusten. Vad beträffar tolerans och preferensområden för adulta fiskar torde inga mer omfattande studier vara av nöden i vårt klimat utan forskningen bör i stället inriktas på den svagaste länken i kedjan — nämligen ägg och yngelstadier.

Likaså borde ynglens födopreferens studeras eftersom det ofta är av vikt att rätt typ av föda finns tillgänglig vid precis den tidpunkt då ynglen börjar äta.

Forskare har också ofta använt fiskar som karp, guldfisk och killfish (*Fundulus*) vilka torde vara ovanligt seglivade (de Sylva 1969). I stället borde undersökningar utföras över de mest kritiska stadierna hos de mer stenoterna fiskarterna.

Man kan vänta att de nära utsläppen belägna zonerna i sött eller bräckt vatten kommer att domineras av braxen, sutare och mört och periodvis åtminstone invaderas av predatorer som gös och gädda. Fjäreffekter på migrerande fiskarter kommer också att erhållas, både kallvattenstenoterna som lax och öring och varmvattenarter som ål. I ålens fall kan man t.ex. visa, vid studium av fiskestatistik från Tyskland och Danmark (Jensen 1961), att fångsten och även

början av perioden till 17 vid periodens slut. Efter i genomsnitt tre månaders uppfödning hade medelvikten nästan 5-dubblats, motsvarande en medelvikt över kilot. Avkastningen per kubikmeter bur låg i snitt vid 100 kg.

Älodingen är hittills framför allt en japansk affär, även om försök pågår på många håll. I Tyskland har man haft negativa erfarenheter av intensivuppfödning av ål, då den visat sig vara en rymmare av klass, vilket kanske kan kopplas till en periodvis stark revirinstitkt. Då man troligen kan räkna med en spontan ansamling av älyngel till varmvattenutsläppen runt våra kuster, speciellt vid Barsebäck, finns kanske förutsättningar för intensivuppfödning av ål inom landet.

Catfish (*Ictalurus*), en släkting till vår mal, men betydligt mer blygsam till förmatt, intensivodlas i USA, och det beräknas att den skall hjälpa till att fördubbla den artificiella fiskproduktionen i USA fram till 1980. Förutom dessa rent fiskinriktade produktionsmöjligheter utnyttjas i USA kylvatten för en rad användningsområden, som visat sig ekonomiskt lönsamma. Bland dessa ingår uppvärmning av enorma växthusanläggningar i anslutning till värmeverken och spryning av fruktodlingar från fasta torn för att höja temperaturen och därvid minska risken för frostsador (Anonym 1970). Dessa sprinklersystem är automatska och sätts i funktion när marktemperaturen och vindstyrkan når vissa gränsvärden. Dessutom används vattnet för konstbevattningsändamål inom arida och semiarida områden.

10. Slutord

Det förekommer många motsägande uppgifter från studier av de flesta delproblemm som hör till den komplexa problematiken fisk contra varmvatten. Alabaster (1969) noterade t.ex. en förbättrad tillväxt av mört i utsläppskanalerna, åtminstone upp till femårsstadiet, medan de flesta är överens om att ett varmvattenutsläpp inte direkt producerar mer fisk eller ger bättre tillväxt utan snarare koncentrerar fisken under de kallaste månaderna. Mihursky (1969) visade att en reducerad planktonfauna skulle stå till fiskynglens förfogande genom att 95% av de planktonorganismer som passerade genom kylsystemen slogs ut. Wright (vid IVA-s årsmöte 1970) gav klara belägg för att bortsett från stressfaktorn utsattes inte plankton för några negativa effekter under passagen. Verhoeven (1969) påtalar att chinook-lax och havsvandrande regnbågslox blir negativt påverkade av varmvattenutsläpp medan undersökningarna vid Hanford inte har kunnat påvisa några negativa effekter.

Shoop 1967: se Doudoroff 1969). Om de däremot endast fick en begränsad daglig ranson så växte de bäst vid 5 grader eller t.o.m. lägre, och tillväxte inte alls vid 15 grader. Hos cohoxax (samma släkte) var motsvarande värden 17-20 grader vid obegränsad tillgång på föda och 5-8 grader vid begränsad diet (Doudoroff 1969). Enligt samma källa växte stormunnad black bass (*Micropterus salmoides*) optimalt på obegränsad födotillgång vid så hög temperatur som 31 grader. När de uppföddes vid 15 på en knapp diet tillväxte de normalt vilket tydde på ett mycket högt födoomvandlingsindex.

Eftersom fiskarna i naturen måste uppvisa en betydligt större aktivitet för att uppleta och förfölja sina bytesdjur är det med stor sannolikhet så att deras metabolism är ännu snabbare än vad akvarieförsöken uppvisa. I så fall är deras optimala temperatur för tillväxt ännu lägre än vad dessa försök visar. Detta resonemang visar att ett varmvattenutsläpp i en oligotrof miljö med begränsad näringstillgång kan innebära en stagnation eller t.o.m. tillbakagång av de närvarande fiskarnas tillväxt.

Aktiviteten hos fisk ökar ofta vid ökande temperatur inom det intervall där de normalt förekommer. Detta gör att de mer effektivt kan fånga sina bytesdjur, men samma effekt kan motverkas av att även bytesdjuren reagerar på liknande sätt vid värmetillskottet. Detta är en av orsakerna till att nätfiske vid högre temperatur mer effektivt avfiskar en population, då en fisk som rör sig mer med större sannolikhet fastnar i maskorna. Jämförelser med opåverkade kontrollstationer är därför ej helt relevanta.

En annan fysiologisk förändring av intresse torde vara effekten av DDT på termoreceptorerna hos t.ex. lax, som minskade förmågan att svara på en temperaturförändring (Ogilvie & Anderson 1965). Man har också kunnat påvisa att lax får svårare att anpassa sin färg efter omgivningen vid så hög temperatur som 20 grader, vilket torde göra dem mer utsatta för predation (Ali 1964).

6. Förändringar i artbalansen och migrationsstörningar

Såsom tidigare betonats har fiskar en utpräglad förmåga att förflytta sig efter temperaturgradienter, vilket bl.a. visas av att 19 marina fiskarter kunde reagera för temperaturskillnader av storleksordningen 0,03 grader (Bull 1937). Ett varmvattenutsläpp torde således verka lockande på ett flertal av våra fiskarter, låt vara under olika årstider, eftersom de flesta av dem lever i temperaturer som avsevärt

understiger de för arten optimala. Detta gäller speciellt de mest varmvattenkrävande som braxen och sutare, och studier i England visade att dessa tillsammans med karp tycktes uppsöka det varmaste vattnet som fanns att tillgå (Alabaster). Den högre temperaturen borde också attrahera övriga karpfiskar av typ mört och björkna samt varmvattentpredatorer som gös. Eftersom det verkar troligt att varmvattenutsläppet lokalt skulle kunna ge upphov till rika årsklasser en ökad predation. Då den höga vattentemperaturen i en havsrecipient snabbt skulle avklinga torde den proportionella omfördelningen av arterna få ganska lokal betydelse, men — likaså lokalt — vara till nackdel för yrkesfisket med tanke på att skräpfisken skulle gynnas. Vid temperaturer av upp till 20 grader i recipienten torde alltså samtliga varmvattentfiskar och de flesta euryterma attraheras, medan kallvattenarter som lax, öring, sik och siklöja repelleras, utom under vintern, då även de senares temperaturpreferenda skulle understigas.

Ytterligare en anledning till att fisk kommer att attraheras av utsläppen under vintern torde vara den ökade syresättningen av vattnet vid minskad, eller direkt vid utloppen, helt utebliven isläggning. Då laxfiskarna har sämre tolerans mot snabba temperaturförändringar torde de attraheras till de mer perifera delarna av utsläppet där temperatursvängningarna är moderata, för att möjliga gradvis flytta närmare utloppet i takt med ökad acklimatisering. En varm sommar torde alltså de flesta arter undfly utsläppet, vilket också påvisats vid engelska undersökningar. Således fångades signifikant mer fisk i utsläppen under sommaren 1958, som var kall, och signifikant mer fisk i de opåverkade stationerna under sommaren 1959, som var mycket varm (Alabaster 1967).

En ytterligare konsekvens av den lokala klimatförändringen torde, åtminstone vid marina utsläpp, vara en attraktion av exotiska fiskar. En mångfald sådana exempel kan anföras: en fiskart från Medelhavet visade sig spontant och lekte utanför södra Wales (Naylor 1965), ökad invandring av rockor och flundror ägde rum till mynningen av Delawarehoden (de Sylva, Kalber & Shuster Jr, 1962). En direkt negativ effekt har en sådan omfördelning av faunan fått vid Los Alamitos i Californien (de Sylva 1969), där stingrockor och häjar invaderat ett kustutsläpp, som i förväg reklameras som ett blivande paradys för bad och surfing.

Omfördelningen av fiskarter vid ett utsläpp torde också kunna komplicera bilden vad beträffar undersökningar av evertebraterna, eftersom ett förändrat predatortryck skulle kunna feltolkas som en kvalitativ förändring av faunan, direkt beroende på temperaturstegringen.

Odling kan vara mer eller mindre intensiv, i det första fallet använder man framför allt artificiella dammar som helt kan regleras, i det andra söker man genom selektivt fiske att rubba artbalansen och vidmakthålla den på en nivå där maximalt utbyte ur ekonomisk synpunkt erhålles. Vid extensivodling av fisk i naturliga recipienter är det bl.a. tre frågor som måste besvaras: vid vilka maxtemperaturer kan reproduktion och tillväxt försiggå, vilka fluktuationer av temperaturen kan tillåtas och till sist — behövs en lägre temperatur under vintern för framgångsrik lek? Det sista är knappast aktuellt annat än för stenoterna kallvattenformer, de flesta andra fiskar kan leka och reproducera sig normalt även om de hålls vid en konstant temperatur året om. Vid konstgjorda och förenklade ekosystem krävs en kontinuerlig mänsklig arbetsinsats för att vidmakthålla status quo, på grund av systemens obalanserade karaktär, t.ex. genom att bygga kläckningsanstalter och gödsla vattnet.

Användningsområden vid intensivare uppfödning spänner över ett brett register som skaldjursodling, odling av räkor, akvarie- eller sportfisk, eller helt enkelt odling av olika kommersiella arter, vilket framgångsrikt prövats i andra länder. Till denna grupp hör t.ex. lax (*Oncorhynchus*), regnbåge och öring, karp, ål och catfish (*Ictalurus*). Vid Hanford visade det sig att moderat värmetillförsel ökade tillväxten i samtliga serier, och fisk i de varmaste bassängerna var ända till 8 ggr tyngre än de i de kallaste (Nakatani 1969). Lokalt visade det sig att en tillsats av 6% kylvatten gav optimal tillväxt medan högre procentandel gav en reduktion troligen beroende på toxiska effekter. Inga skador förorsakade av radioaktivitet kunde påvisas vid dessa koncentrationer. Om en liknande tillväxt kunde erhållas på vår lax skulle de troligen bli utvandringsfärdiga redan efter ett år — en stor ekonomisk vinst ur odlingsynpunkt. Då man dessutom vet att större smolt har bättre överlevnad i havet finns all anledning att pröva sådan odling.

I Spanien har under FAO's kontroll utförts försök med intensivodling av regnbåge och öring vid mycket höga vattentemperaturer (Calderón 1965). Normal tillväxt och reproduktion förekom hos bägge arterna vid en månadsmedeltemperatur av 26.9 med max. temperaturen under dagen i genomsnitt stigande till 29 grader — tidigare ansedda som klart letala temperaturer för bägge arterna. För att motverka denna höga temperatur hade dammarna planterats till 40% med vattenväxter för hög syrgasproduktion samtidigt som genomrinningshastigheten minskats och solexponeringen mot vattenytan gjorts maximal. Uppfödning av karp har utförts i Tyskland (Steffens 1970). Intensivodling i närburor med pelletsutfodning av karp med en genomsnittlig vikt av 200-300 g genomfördes under sensommaren och hösten. Vattentemperaturen varierade mellan över 27 i

Vid vattenintagen till värmeverken har man stora problem med algpåväxt, dels på själva väggarna dels på de galleranordningar som krävs för att hindra att makroskopiska organismer kommer in i cirkulationssystemet. Denna påväxtfauna bekämpas med ett brett sortiment av toxiska substanser av typ *algicider*, *pH-ställare*, *korrosionsinhibitorer* och *spridningsagenter*. Dessa ämnen, samt restflor och cyanoföreningar, medför att kylvattnet vid utsläppet verkar både mer förorenande och mer direkt toxiskt än intagsvattnet (Hynes 1963). Dessa toxiska substanser kan naturligtvis också inverka menligt på saluvärdet av fisk, inte bara sådan som fångats nära ett utsläpp utan även ur psykologisk synpunkt på hela den presumtiva marknaden.

Huruvida de ovan uppräknade toxiska substanserna skulle ha ökad verkningsgrad vid högre temperatur är oklart, trots att vissa substanser utan tvekan har det. Cyanoföreningar tycks allmänt följa regeln för en positiv korrelation mellan temperatur och ökad giftgrad gentemot salmonider (Alexander et al. 1935). Liknande relationer har påvisats på elritsa med ammoniaklösningar (Wuhrmann & Woker 1953) medan andra substanser som zink, och fenoler, där de toxiska koncentrationerna uppvisar tröskelvärden, inte tycks ha någon temperaturberoende effekt, i varje fall inte inom den för fiskarna fysiologiskt viktiga temperaturzonen (Lloyd & Herbert 1962).

9. Möjligheter att ekonomiskt utnyttja varmvattenutsläpp

Det finns många förslag hur man bäst bör ekonomiskt utnyttja den överskottsvarme som i form av utsläppt kylvatten erhålles vid kärnkraftverk. En del av dessa förslag ställer sig med nuvarande teknologi för dyra, t.ex. kloakvattenrening och avsaltning av havsvatten. Andra har praktiskt prövats, och i vissa fall befunnits ekonomiskt lönsamma. Bland de senare har vi naturligtvis det direkta fisket, både av yrkes- och sportkaraktär, som totalt torde ge ökad avkastning. Tyvärr kommer en stor del av produktionsökningen att utgöras av icke säljbar fisk, varför man kan tänka sig ett selektivt fiske för att gynna mer värdefulla arter. Detta torde dock vara realistiskt bara i mer begränsade recipienter och börjar närma sig ett annat användningsområde, nämligen fiskodling.

Måttliga temperaturförändringar torde kunna få omfattande effekt på migrationsmönstret hos kustnära stråk av anadroma och katadroma fiskarter. Det är ett välbekant faktum att både salmonider av typ lax och öring, samt äl, samtliga av stor ekonomisk betydelse, både attraheras av en varmvattenström och uppvisar en positiv korrelation med temperatur vad beträffar rika smoltklasser (öring, lax) och ökad fångst (äl).

Här kan ytterst moderata temperaturtillskott av storleksordningen 0,1 grader ha betydelse, och om dessutom utsläppen, som i Sveriges fall, kommer att förläggas till relativt öppna kuststräckor med stor vind och strömpåverkan och ty åtföljande god vattenomsättning, torde lax och öring med sina krav på hög syrgashalt kunna aklimatiseras till zoner nära utsläppen. Detta har f.ö. rapporterats från Stenungssund där man märkt en ökad ansamling av öring till utsläppsområdet.

Vid varmvattenutsläpp i floder tycks bilden vara splittrad. Vissa arter som lax, öring och vissa anadroma nordamerikanska sillarter tycks föredra det varmaste flödet vid valförsök inom temperaturpreferensområdena, medan t.ex. Stilla-havslax (*Oncorhynchus*) ej tycks attraheras av varmt vatten. Flodmynningar med kylvattenutsläpp tycks inte heller nämnvärt störa uppvandringen av lax (Usk, England) och såvida ej varmvattenplymen fullständigt blockerar floden tycks ej lekvandringen äventyras.

Som ett exempel härpå kan nämnas lekvandringen av sockeye-lax i Columbia-floden vid Hanfordanläggningen (de Sylva 1969). Lax som traditionellt har sina lekområden uppströms utsläppen fortsätter normalt och de flesta fiskar väljer att simma på grunt vatten längs den motsatta stranden. Detta gäller de tidigt anläggande fiskarna. Den del av populationen som leker under senhösten simmar i hela vattenmassan och de leker framgångsrikt direkt nedströms om reaktorutsläppen, där fullständig blandning av vattnet ännu inte skett. Det finns inga tecken på att den lokala populationen skadats, tvärtom har antalet grävda lekgröpar tiodubblats under perioden 1950-1967, trots att det under denna tid förekom fem år med maximal reaktorverksamhet. Det är tydligt att temperaturen i speciellt de högre vattenlagren ej har avgörande betydelse för framgångsrik lek utan att andra faktorer som bottenmaterialets beskaffenhet (speciellt kornstorlek), strömhastighet och vattendjup har större betydelse.

7. Metoder att studera migrationsförändringar

1) Yttre och inre märken:

fördelar= effektiva under en lång tidsrymd, kan appliceras på små fiskar.
nackdelar= låg återfångstprocent och dålig inrapportering medför att stora serier krävs.

2) Visuella märken, ex. typ bordennisboll med nylonlina:

fördelar= billig och kan utföras på ett fåtal fiskar.
nackdelar= kan endast användas på stor fisk. Svårt att riktning- och avståndsbestämma.

3) Telemetriska metoder, typ "sonic tags" (transistoriserade ultraljudsändare och minst två mottagare för lägesbestämning):

fördelar= möjliggör studier på enstaka individ och relativt exakt lägesbestämning.
nackdelar= dyrbara med komplicerad elektronik. Dessutom krävs visst utvecklingsarbete för att kunna använda dem på små fiskar.

4) Direkta observationer genom dykning:

fördelar= ger en tredimensionell bild av migrationen. Bra vid hög fiskkoncentration.
nackdelar= dykaren handikappad av kort sikt och kan dessutom skrämna fisken.

5) Provfisken med nät:

fördelar= ger en indirekt bild av migration genom att påvisa proportionella förändringar i årsklass och artsammansättning.
nackdelar= provfiskelänk kräver relativt stor arbetsinsats, översiktsnät därvidlag bättre. Nätfiske överlag mycket selektivt.

6) Populationsgenetiska proteinnmärkörer:

fördelar= visar storskaliga förändringar av typ populationers attraktion resp. repulsion.
nackdelar= svårt att finna lämpliga märkörer, kräver relativt stora samples.

Vissa av de ovan nämnda metoderna kompletterar varandra, varför olika kombinationer av dem i stället för enstaka insatser torde ge en betydligt mer allsidig upplysning om såväl enstaka fiskars som hela populationers beteendemönster när ett varmvattensläpp introduceras i deras miljö.

8. Smittorisker och toxiska effekter

Som tidigare har utförligt berörts, finns många tecken som talar för en ansamling av vissa fiskarter vid ett kylvattensläpp, åtminstone under den kalla årstiden. En sådan koncentration av fisk i samband med en förbättrad tillväxt av patogena organismer av typ svampar, bakterier och virus ökar dels risken för infektion hos enstaka individ och dels risken för en snabb smittospridning. Vid University of Washington i Seattle har man funnit att höga vattentemperaturer drastiskt ökar effekten av "kidney disease", furunkulos och liknande infektioner på unga laxfiskar. Denna effekt blir givetvis än större om kylvattnet släpps ut i en förorenad recipient. Indirekta bevis för denna hypotes har man från Biscayne Bay i Florida där fisk i närheten av kylvattensläpp hade hudskador (de Sylva 1969). I fisktrappor har dessutom påvisats maximala koncentrationer av columarisorganismer vid höga vattentemperaturer när både koncentrationen av stationära fiskar och passagen av anadroma arter genom fisktrappan nått sin kulmen (Nakatani 1969).