



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R49:1989

**Effekter på zooplankton vid  
passage genom öppen  
sjövärmepump**

**Christer Lännergren**

INSTITUTET FÖR  
BYGGDOKUMENTATION

År: \_\_\_\_\_

Plac: Ser

R/T

**Byggforskningsrådet**

## INNEHÅLL

1. Sammanfattning
2. Inledning
3. Allmänna effekter på organismerna av passage genom en värmepump
4. Material och metoder
  - 4.1 Värmepumpens egenskaper
  - 4.2 Vattenområdets egenskaper
  - 4.3 Provtagning och analysmetoder
5. Resultat
  - 5.1 Undersökningar av zooplankton i in- och utgående vatten
    - 5.1.1 Skador
    - 5.1.2 Vitalfärgning
    - 5.1.3 Förändring av andelen äggbärande honor
  - 5.2 Överlevnadsförsök
6. Diskussion
7. Litteratur (omfattar även publikationer som inte hänvisas till i texten)

## Tabeller

- Tabell 1. Resultat av undersökningar av zooplankton i in- och utgående vatten.
- Tabell 2. Resultat av överlevnadsförsök, påbörjat 860903.
- Tabell 3. Förändringar av andelen ofärgade individer av Cyclops och Chydorus under överlevnadsförsök 860903-10.
- Tabell 4. Dödlighet hos zooplankton efter passage genom kylvattensystem, samt en studie av turbinpassage i vattenkraftverk.
- Tabell 5. Skador på zooplankton efter passage genom kylsystem.



## 1. SAMMANFATTNING

Sjövärmepumpar med öppna system kan utnyttja en förhållandevis stor del av den tillgängliga volymen i en sjö. De organismer, som följer med det ingående vattenet och passerar genom systemet, kan skadas under passagen genom rör, pumpar och värmeväxlare.

Den föreliggande undersökningen avser effekterna på zooplankton. Arbetet har gjorts i anslutning till värmepumpen i Vallentuna med uttag från Vallentunasjön.

Tre typer av påverkan har studerats: momentan dödlighet med hjälp av vitalfärgning, samt i mikroskop iakttagbara skador och äggförluster. Långtidseffekter har undersökts genom uppföljning av förändringarna av andelen döda individer under upp till 7 dagar.

Skadorna varierade från brutna antenner eller andra utskott, till halverade, dekapiterade eller helt krossade individer. Den vanligaste skadan var brutet bakre utskott hos *Daphnia* som vid direkt genomströmning, utan recirkulation, ökade med ca 6-20 %. Andra typer av skador ökade med endast ca 1-2 %. Recirkulering medförde en markerat större förekomst av skador. Andelen skadade *Daphnia* ökade med ungefär 50 %.

Ökningen av andelen döda individer, indikerad av vitalfärgning, var vid direkt genomströmning i storleksordningen 5-30 %. Vid recirkulation var dödligheten 100 % för *Chydorus*, 50 % för nauplier och *Cyclops*, och 30 % för *Bosmina*.

*Cyclops* var den enda arten med äggbärande honor i större antal. Andelen äggbärande individer minskade vid två provtagningar från 12 till 4 % respektive 29 till 21 %. Recirkulering medförde total förlust av ägg.

Överlevnadsförsöken gav oklara och delvis oförklarliga resultat. Ökningen av andelen döda individer under försökets gång var inte större i proverna med utgående än med ingående vatten.

De sammantagna effekterna av värmepumpen på förhållandena i Vallentunasjön bedömdes som små. Resultaten visade dock att skadorna vid framför allt recirkulation var betydande. En viss försiktighet vid lokaliseringen av värmepumpar med detta system är därför tillrådlig.

## 2. INLEDNING

Värmepumpar, som utnyttjar värme i sjö- eller havsvatten med öppna system, är en ganska ny företeelse. Många bedömningar har gjorts av de tänkbara effekterna av värmepumpar på vattenområden i allmänhet liksom på speciella områden där värmepumpar är planerade, och rekommendationer har utfärdats för miljöanpassad anläggning och drift av värmepumpar. Några egentliga undersökningar av de biologiska effekterna av värmepumpar med öppna system har dock inte utförts.

Betänkligheterna mot öppna system har främst gällt omfördelningen av yt- och bottenvatten, inverkan på syrehalten och risken för isförsvagning. Däremot har risken för skadeverkningar på de organismer som följer med vattnet in genom pumpar och värmeväxlare inte beaktats, men sådana effekter har diskuterats mycket i samband med andra liknande system, framförallt kylvattenintag till värmeoch kärnkraftverk.

Även intag till vattenverk kan ha en viss likhet med intag till värmepumpar vad beträffar de biologiska effekterna, men eftersom vattenverk medför ett netto-uttag från en sjö eller ett vattendrag, blir volymerna sällan särskilt stora i förhållande till vattenområdets totala volymen. Vattnet till en värmepump, däremot, släpps vanligen relativt opåverkat ut på nytt i det vattenområde som det tagits från. De pumpade volymerna kan därigenom, åtminstone teoretiskt, vara större än den totala tillgängliga volymen, och t ex ett avgränsat bottenvatten kan passera genom värmepumpen mer än en gång per säsong.

Den i förhållande till vattenområdet stora volym, som kan utnyttjas i en värmepump, gör det angeläget att studera effekterna på de organismer, som följer med vattnet in i värmepumpen. I denna rapport redovisas resultaten av undersökningar av effekterna på zooplankton av en öppen sjövärmepump som utnyttjar vatten från Vallentunasjön norr om Stockholm, och resultaten jämförs med resultaten av undersökningar från studier av effekterna på zooplankton av främst kylvattenintag.

Jag tackar varmt för den hjälp som jag fått av personalen vid Vallentuna Värmeverk AB med lån av båt och andra praktiska ting.

Undersökningen har utförts vid VBB AB i Stockholm.



### 3. ALLMÄNNA EFFEKTER PÅ ORGANISMERNAS AV PASSAGE GENOM EN VÄRMEPUMP

Värmen i vattnet tas till vara genom att det pumpas till en värmeväxlare, där temperaturen i sjövattnet sänks med mellan ca 1.5 och 12°C. Vattenintaget är sommartid placerat i ytvattnet (dvs ovanför språngskiktet) och vintertid i bottenvattnet. Strömhastigheten omedelbart vid intaget varierar i olika system och kan som mest uppgå till ca 30 cm/sekund. I intaget finns ett galler med ca 20 mm öppningar, för att hindra större föremål från att komma in i pumpen.

De organismer, som har passerat gallret, kommer in i pumparna där de utsätts för de största mekaniska påfrestningarna - stora G-krafter och kollisioner med roterande delar, pumphusets väggar och med andra partiklar i vattnet. Efter pumpen, på trycksidan, sitter en sil med 1.5 - 8 mm öppningar. Mindre organismer fortsätter med vattnet in till värmeväxlaren. I strilförångare kan de exponeras för luft och syrehalten ökar plötsligt om vattnet från början är dåligt syrsatt. I platt- och tubvärmeväxlare utsätts organismerna i stället för höga strömhastigheter, tryckförändringar och kollisionsrisker.

Returvattnet släpps ut ovanför språngskiktet. Vintertid, då vattnet tas från djup under språngskiktet, måste organismerna ta sig genom det kalla ytvattnet för att komma tillbaka till bottenvattnet, antingen simmande eller passivt sjunkande. Sommartid släpps vattnet ut på ungefär samma djup som det tagits från. Organismernas vertikalfördelning påverkas därför mindre än under vintern.

## 4 MATERIAL OCH METODER.

### 4.1 Värmepumpens egenskaper

Undersökningen gjordes i anslutning till den värmepump som drivs av Vallentuna Energiverk AB. Värmepumpen har en värmeeffekt om 8.5 MW. Den pumpade volymen uppgår till mellan 50 och 300 l/s.

Värmepumpens utformning är ovanlig genom att sedimenten utnyttjas som värmemagasin. Det görs genom att vattnet, innan det når värmeväxlaren, passerar genom ett slangsystem som är nedgrävt på mellan 3 och 6 m djup i botten. Under sommaren (juni-oktober) tillförs sedimenten värme från ytvatten som tas på ca 0.5 m djup. På vintern (oktober-maj), då intaget är beläget på ca 4.5 m djup, utvinns den lagrade värmen och temperaturen höjs på det vatten som går till värmeväxlaren. Värmelagret medför att transportvägarna är mycket långa, ca 4 mil, därav ca 3 mil genom lagret.

Beroende på det ingående vattnets temperatur, sker ibland under vinterperioden en recirkulering av vattnet i värmeväxlaren genom att temperaturen på det utgående vattnet automatiskt styrs mot +0.5 °C. I denna undersökning förekom recirkulering endast vid ett provtagningstillfälle, i början av oktober.

### 4.2 Vattenområdets egenskaper

Vallentunasjön var fram till mitten av 70-talet recipient för avlopp för Vallentuna avloppsreningsverk. Efter avlastningen har sjön förblivit näringsrik med tidvis täta blomningar av blågröna alger. Det stora näringsinnehållet torde i första hand bero på utlösning från de förorenade bottenarna.

Vallentunasjöns yta är 6.5 km<sup>2</sup>, och den totala vattenvolymen har beräknats till 15.4 Mm<sup>6</sup>. Trots att det största djupet inte är mer än ca 5 m, är vattnet i allmänhet skiktat både sommar och vinter, men sommar-skiktningen bryts ibland vid stark vind. Det finns inga precisa uppgifter om djupet för språngskiktet. Att döma av de undersökningar som gjorts av Limnologiska institutionen i Uppsala, är det vinterid beläget på ungefär 2 m, och bottenvattnets volym är då ca 4.2 Mm<sup>3</sup>.

Zooplanktonpopulationen domineras antalsmässigt av hinnkräftor (cladocerer), främst Chydorus sphaericus och därefter Daphnia cucullata. Bland hoppkräftorna (cope-poder) är Mesocyclops leuckarti (+ Cyclops vicinus) relativt vanlig. Hjuldjuren (rotatorier) domineras av Keratella quadrata och Kellicottia longispina. Mängden zooplankton är stor jämfört med i andra sjöar i Stockholms närhet.



### 4.3 Provtagning och analysmetoder

Prov, som representerade det ingående vattnet, togs med en 2 l Van Doornhämtare vid värmepumpens sommar- eller vinterintag med undantag av i februari 1987, då provtagningen av det ingående vattnet pga dålig is måste göras i pumpsumpen, dvs före pumpen men efter ca 100 m transport genom intagsledningen. Utgående vatten togs direkt i en 10 l plastdunk från värmepumpens utsläpp till Ormstadiket.

10-20 l vatten filtrerades försiktigt med hjälp av en hävert genom 100 um nylonduk. Det material, som samlades på duken, konserverades med 10 % formalin för senare räkning och artbestämning.

Vid samma lokaler och tillfällen togs prover för viltfärgning enligt Crippen & Perrier. 100 ml av en lösning av 1 g neutralrött i 100 ml destillerat vatten sattes till 10 l provvatten. Efter 5 timmar filtrerades provet med hävert genom 100 um nylonduk och det partikulära materialet på duken resuspenderades i ca 100 ml rent vatten. 2 ml lösning av lika delar 1 N ättiksyra och 1 N natriumacetat tillsattes per 50 ml suspension. Proverna konserverades i 10 % formalinlösning och förvarades i kylskåp till nästa dag, då färgade och ofärgade organismer bestämdes i mikroskop med mörkfält.

Undersökningar av in- och utgående plankton gjordes vid fyra tillfällen, i juli, september och oktober 1986, samt i februari 1987.

Undersökningar av långtidseffekter gjordes vid två tillfällen, september 1986 och februari 1987. Organismer från intagsområdet och från värmepumpens utsläpp inneslöts i plexiglasrör med 20 cm längd och 8 cm diameter. Rören rymde 1 liter och var i ändarna täckta med 100 um nylonduk. Proverna togs som beskrivits ovan. 1 liter överfördes med slang till rören genom hål borrarade i plexiglasen. Rören var under fyllningen nedsänkta i sjövattnet för att undvika tryckskillnader. Hålen tätades med teflonproppar varefter 3 rör med respektive prov hängdes ut i sjön vid intaget på 0.5 - 1 m djup. Efter 2, 4 och 7 dagar togs ett rör med prov av ingående och ett av utgående vatten in. Färgning, konservering och bestämning av färgade och ofärgade organismer gjordes som ovan.

## 5. RESULTAT

### 5.1 Undersökningar av in- och utgående vatten

De observerade effekterna på zooplankton av passagen genom värmepumpen var av tre slag:

- den mikroskopiska undersökningen påvisade en förändring av andelen individer med tydliga yttre skador
- vitalfärgningen visade en förändring av andelen ofärgade individer, dvs individer som vid provtagningstillfället var döda men inte uppvisade synbara yttre skador
- andelen äggbärande honor förändrades.

#### 5.1.1 Skador

Skadorna varierade från brutna antenner eller andra utskott, till halverade, dekapiterade eller helt krossade individer. Då värmepumpen drevs utan recirkulation var svåra skador dock sällsynta och representerade mindre än 1 % av det sammanlagda antalet. Frekventa synliga skador förekom endast hos en art, *Daphnia cucullata*, och bestog nästan uteslutande av brutet bakre utskott. Passagen genom värmepumpen medförde vid de två första provtagningarna en ökning av andelen skadade individer med 6-7 %, från 10 resp 15 % i det ingående vattnet till 17 resp 21 % i det utgående. Vid provtagningen i februari 1987 var antalet zooplanktonorganismer litet, och någon skillnad mellan organismerna i in- och utgående vatten kunde inte urskiljas.

I juni 1987 var ökningen av antalet skador på *Daphnia* stor, från 6 % i ingående till 25 % i utgående vatten. I samma prov förekom sammanlagt 4 *Leptodora*, som annars var en ovanlig art. I det utgående provet med 3 individer var 2 svårt skadade. 1 *Leptodora* uppvisade inga synliga skador. 1 oskadad *Leptodora* förekom även i utgående vatten i juli 1986, vilket är överraskande med tanke på artens storlek.

De prover, som togs i oktober 1986 då vattnet recirkulerades i värmepumpen, visade en mycket större ökning av andelen skadade individer. Brutet bakre utskott förekom i det ingående vattnet hos 21 % och i det utgående vattnet hos 71 % av *Daphnia*. *Diaptomus*, som var fåtaliga i proverna och sällan uppvisade skador vid andra tillfällen, hade i tre fall av åtta tydligt skador - två individer med brutna antenner och en delvis halverad.

Provet från det utgående vattnet innehöll även en stor mängd fragment, och gav omedelbart ett annat synintryck än det ingående vattnet. Genomströmningen vid

provtagningstillfället var 50 l/s mot 300 l/s vid full pumpning. Graden av recirkulering låter sig emellertid inte beräknas.

De rotatorier, som registrerades i proverna (endast april och juni 1987) visade inga synliga skador. Samtliga noterade arter är försedda med skal, vilket i kombination med deras litenhet torde ge dem stor förmåga att motstå påfrestningarna i pumpar o.a.

### 5.1.2 Vitalfärgning

Bedömningen av vitalfärgningen var inte alldeles okomplicerad. Andelen individer i det ingående vattnet som inte färgades av vitalfärgningen var förvånansvärt hög. Under sommar och höst var den som mest 28 %, och i vinterproverna, som dominerades av nauplier, förefaller färgningen inte ha givit något resultat - 95 % av individerna i det ingående vattnet förblev ofärgade. Det är emellertid möjligt att förhållandena i pumpgropen, där dessa prover togs, var sådana att dödligheten var stor redan före pumpen.

I vanligt ljusfält var skillnaderna mellan färgade och ofärgade individer ofta svår att fastställa, särskilt gällde detta cladocererna. I mörkfält framträdde dock skillnaderna mycket tydligare. Som framgår av skillnaden mellan de prover som togs vid recirkulation i värmeväxlaren och övriga prover, förefaller vitalfärgningen verkligen ha gett relevanta resultat.

Vid recirkulation, i oktober 1986, var dödligheten mycket stor. Andelen ofärgade individer ökade från 8-21 % i det ingående vattnet till 38-100 % i det vatten som lämnade värmepumpen. Den största dödligheten, 100 %, noterades för Chydorus, medan andelen döda Cyclops och nauplier ökade med ca 50 % och andelen döda Bosmina med ca 30 %.

I juli 1986 registrerades en viss ökning av dödligheten för Cyclops, medan någon ökning inte kunde påvisas för andra arter; andelen ofärgade Chydorus var till och med större i in- än utgående vatten. I september 1986 var andelen ofärgade Cyclops lika stor i båda proverna. Däremot ökade andelen ofärgade Daphnia och nauplier, som inte hade visat någon påverkan av passagen i proverna från september.

Den ökning av dödligheten, som indikerades av vitalfärgningen vid provtagningarna i juli och september, var av storleksordningen 5-30 % med den högsta siffran för nauplier i september. Det är intressant att notera att skador på Daphnia bara vid en provtagning, i september, medförde en ökning av andelen ofärgade individer, och det är tänkbart att skadorna, huvudsakligen brutet bakre utskott, inte orsakade momentan död.

I proverna från april och juni 1987 var skillnaderna i allmänhet små mellan in- och utgående vatten. I april var andelen ofärgade individer stor redan i det ingående vattnet, och det är möjligt att vitalfärgningen påverkas av vattentemperaturen. I juni var det en genomgående tendens mot större andel ofärgade arter i det utgående vattnet, men för var enskild art var skillnaderna små.

Detta gäller även rotatorierna. Vitalfärgning är en tveksam metod för denna grupp, och resultaten var delvis svårförklarliga, med betydligt större andel ofärgade *Kellicottia longispina* i ingående än utgående vatten i april 1987.

### 5.1.3 Förändring av andelen äggbärande honor

Cyclops var den enda art med äggbärande honor i större antal. I juli 1986 bar endast 2 % i det ingående vattnet ägg. I september och oktober var andelen betydligt större, 29 respektive 20 %. Inga äggbärande honor förekom i proverna från februari 1987 och antalet var litet i juni. I april 1987, då 12 % av Cyclops i ingående vatten var äggbärande, minskade andelen till 4 % efter passage av värmepumpen. Proverna från juli 1986 visade ingen äggförlust efter passagen, vilket delvis kan ha berott på att antalet var för litet för att en förändring skulle ha kunnat observeras. I september minskade andelen äggbärande honor från 29 till 21 %. Recirkuleringen i oktober gav, liksom när det gällde andra skador, drastiska effekter på äggförlusterna, och ingen av honorna i det utgående vattnet hade behållit sina ägg.

Äggbärande *Kellicottia* och *Keratella* noterades i proverna från april och juni 1987. Båda arterna uppvisade enligt räkningarna äggförluster i april, men tvärtom vad som skulle förväntas var andelen individer med ägg större i det utgående än i det ingående vattnet i juni. En konsistent skillnad var emellertid att *Kellicottia longispina* med två ägg endast förekom i ingående vatten.

### 5.2 Överlevnadsförsök

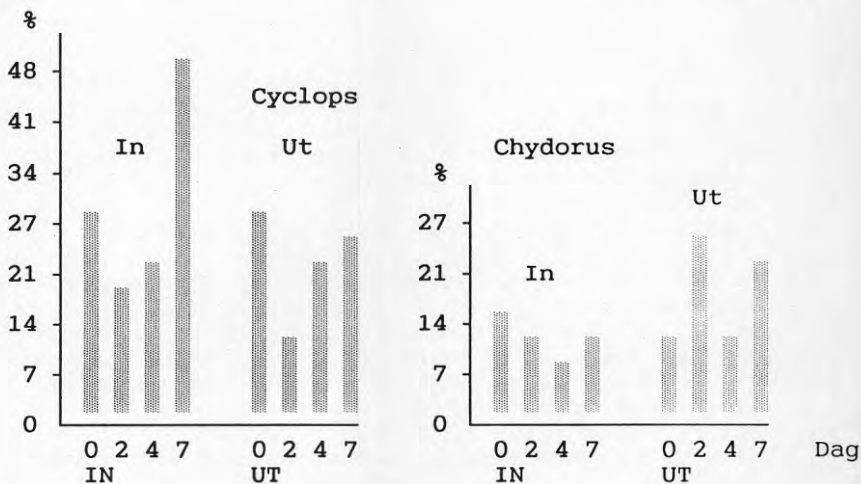
Överlevnadsförsök gjordes vid två tillfällen, i september 1986 och i februari 1987. Resultaten från februari gav inga meningsfulla resultat pga den låga populationstätheten under vintern.

Vid försöket i september förekom *Chydorus* i stort antal, 200-400/prov. Även Cyclops var relativt vanlig, med 20-40/prov, medan övriga arter var alltför fåtaliga för att ge någon information om förändringar under försökets gång.

Cyclops visade både i provet från ingående och från utgående vatten en minskning av andelen ofärgade in-

divider från dag 0 till dag 2. Därefter ökade denna andel i båda proverna. Ökningen fram till dag 7 var emellertid snabbast i provet med ingående vatten tvärtemot vad som skulle förväntas, se Tabell 3 och figuren på nästa sida.

Förändringarna av andelen ofärgade Chydorus var mer oregelbundna, och resultaten visar inga klara tendenser. När försöket avslutades uppvisade dock Chydorus, i motsats till Cyclops, en högre procent ofärgade individer i det prov, som togs av utgående vatten, än i provet med ingående vatten, Tabell 3 och nedanstående figur.



Figur. Andelen ofärgade individer (%) av Cyclops och Chydorus, dag 0-7 i överlevnadsförsök 860903-860910 (se även Tabell 3).



## 6. DISKUSSION

Undersökningar, som har gjorts av zooplanktondödlichkeit i kylvattensystem och vattenkraftverk, har givit mycket olika resultat. En bidragande orsak är användningen biocider, oftast klor, som är vanlig i framförallt kylvattensystem. I kylvattensystem tillkommer temperaturhöjning som en viktig orsak till dödligheten.

Enligt undersökningar som gjorts i mycket olika miljöer av McNaught (1972), Edsal & Yocum (1976), NALCO Environmental Sciences (1976), Prager et al. (1971), Berghahn (1979) samt Middlebrook (1975) var mekanisk stress den dominerande dödsorsaken, och samma slutsats har dragits av Industrial Bio-Test Laboratories Inc (1972) och Carpenter et al. (1974).

Bl.a. Carter (1979), Rogers (1979), Cannon et al. (1979) och David & Jensen (1975) antog att temperaturförändringar i kylsystemen istället var den viktigaste orsaken till dödlighet, medan t.ex. Heinle (1976) och Gentile et al. (1976) ansåg att klorinering var den dominerande orsaken.

Dödligheten har i de olika undersökningarna varierat mellan ca 0-100 %, Tabell 4. De 6 % dödlighet som i tabellen anges av Industrial Bio-Test Laboratories Inc. för zooplankton i allmänhet, hänför sig enbart till fysisk stress, och ett ännu lägre procenttal, 1.1 %, uppges av Rogers (1979). Höga procenttal för akut dödlighet pga mekanisk stress har rapporterats av några författare. Den högsta siffran tycks vara i storleksordningen 30 %, t.ex. Bertilsson (1979) i studier av effekten av turbinpassage i ett vattenkraftverk. Ett mycket högt procenttal för mekaniskt orsakad dödlighet, 70 %, har uppgivits av Carpenter et al. (1974), men detta avser inte akut dödlighet utan långtidseffekter.

Den dödlighet, som kunde registreras i värmepumpen i Vallentunasjön, torde till allra största delen ha orsakats av mekaniska faktorer. Temperatursänkningen var visserligen ganska stor i oktober, ca 12°C, men betydligt måttligare än den temperaturhöjning på ca 30°C som oftast anges som kritisk i kylvattensystem, och temperaturhöjningen i värmelagret, ca 5°C, är jämförelsevis obetydlig. Dödligheten, som mätt med vitalfärgning, uppgick till 0-30 %. Storleksordningen sammanföll alltså väl med litteraturuppgifterna, men det bör noteras att dödligheten för nauplier i juli och september 1986 låg vid den övre gränsen för vad man tidigare funnit. När vattnet recirkulerades i värmepumpen ökade emellertid dödligheten dramatiskt, upp till 100 % (Chydorus), och var avsevärt högre än vad som tidigare angivits för mekanisk stress enbart. Den ovanligt långa transporten genom ledningarna före-



faller därför ha varit av mindre betydelse för skadefrekvensen än påfrestningarna vid passagen genom värmeväxlaren eller genom pumparna i recirkuleringsystemet.

Den grundligaste undersökningen av skador pga mekanisk stress i kylvattensystem, Standke & Monroe (1981), visade procenttal i storleksordningen 0.25-7 %, med undantag av *Leptodora* (22 %), som även hade höga procenttal för dödlighet (Tabell 4), och *Daphnia* med brutet bakre utskott hos 23-62 % av individerna.

Vid drift utan recirkulering orsakade värmepumpen i Vallentuna ganska få direkt iakttagbara skador, förutom på *Daphnia*, med brutet bakre utskott som vanligaste skada. Skadade individer observerades även i proverna från det ingående vattnet; frekvensen ökade i utgående vatten med mellan 6 och 20 % - ett betydligt lägre procenttal än vad som uppges av Standke & Monroe. Vid recirkulering noterades emellertid brutet bakre utskott hos 71 % av *Daphnia* i det utgående vattnet mot 21 % i det ingående. Ökningen, 50 %, var av samma storleksordning som i den undersökning som gjordes av Standke & Monroe. Andelen andra typer av omedelbart synliga skador - dekapitering, styckning och skadade antenner - visade ingen förändring vid recirkuleringen, utan förekom hos ca 1 % av individerna, liksom vid de övriga provtagningarna. Frekvensen närmade sig således de påfallande låga procenttal som uppgavs av Standke & Monroe för *Bosmina*, *Cyclops* och *Diaptomus*, och var avsevärt lägre än i de andra studierna som refereras i Tabell 5, med undantag av Mas-sengill (1976).

Äggförlusterna var påfallande stora vid två provtagningar, i april 1987 och vid recirkuleringen i oktober 1986, medan den andel honor som förlorade sina ägg var jämförelsevis liten i september 1986. I april 1987 motsvarade minskningen från 12 till 4 % äggbärande *Cyclops* en äggförlust hos ca 70 % av honorna, att jämföra med 86 % i Standke & Monroe's studie och ca 25 % i september. Recirkuleringen var katastrofal för äggbärande honor och medförde en förlust av samtliga ägg.

De negativa effekter som värmepumpen kan ge på zooplanktonpopulationen i Vallentunasjön, torde främst bestå i skadorna på *Daphnia* och äggförlusterna hos äggbärande honor. I denna undersökning registrerades äggförluster huvudsakligen hos *Cyclops* som var den vanligaste arten med ägg, men det är troligt att förlusterna är av liknande storleksordning hos andra arter som bär äggen så relativt oskyddat (i motsats till t ex *Daphnia*). Hur omfattande skadorna blir på den totala populationen beror naturligtvis på den andel av sjöns volym, som passerar genom värmepumpen, och i viss mån på hur stor del av tiden som värmepumpen drivs med recirkulation.

Daphnia påträffades i litet antal i proverna som togs under vintern, och övervintrar sannolikt inte som vuxna i en näringsrik sjö som Vallentunasjön. Deras reproduktionsförmåga är ganska god under sommaren, och det är inte troligt att skadorna vid normal sommar-drift, då ca 7 % av ytvattnets volym (med språngskiktet på 2 m) omsätts per månad, är tillräckligt omfattande för att ge märkbara effekter. Recirkuleringen, med mer uttalade skadliga effekter, påbörjas först i oktober, och drabbar alltså en population på nedgång.

Äggförlusterna kan eventuellt utgöra en större fara för populationernas fortbestånd. Även i det fallet är emellertid de volymer, som passerar värmepumpen, så pass små i förhållande till den totala vattenvolymen, att driften åtminstone under sommaren inte medför någon större påverkan. Den mest kritiska tiden skulle i stället kunna vara under våren. Om förlusterna i snitt antas drabba 50 % av honorna hos utsatta arter vid en pumpad volym av 300 l/s och 100 % vid 50 l/s, betyder pumpningen från bottenvattnet i april-maj att mellan 6 och 18 % av äggen förloras. Beräkningen är överdrivet pessimistisk, såtillvida att språngskiktet i normala fall löses upp någon gång i månadsskiftet april/maj. Den andel av sjöns volym som påverkas är alltså i verkligheten avsevärt mindre, och några påtagliga negativa effekter kan knappast uppstå.

Allmänt innebär resultaten av denna undersökning dock att lokaliseringen av värmepumpar bör göras med en viss försiktighet, och värmeuttag från sjöar bör inte ske om det medför att en mycket stor andel av vattenvolymen utnyttjas av recirkulerande system av samma typ som det i Vallentuna Värmeverk.

## 7. LITTERATUR

- Beck, A.D. & D.C. Miller, 1974. Analysis of inner plant passage of estuarine biota. - Am.Soc.Civil Eng.Power Div.Spec.Conf., Boulder, Colo, USA, Aug. 12-14.
- Berghahn, R., 1979. Schädigung limnischer Rotatorien bei der Passage durch das Kühlsystem eines Kohlekraftwerkes. - Arch.Hydrobiol./Suppl.43:225-235.
- Bertilsson, J., 1979. Zooplanktonödlichkeit vid kraftverk. - LUNDBDS/NBLI-301/1-15/(1979), Limnologiska Institutionen, Lunds universitet.
- Bienfang, P. & W. Johnson, 1980. Response of subtropical phytoplankton to power plant entrainment. - Environ. Pollut. Ser.A 22:165-178.
- Brauer, G.A., W.H. Neill & J.J. Magnuson, 1974. Effects of a power plant on zooplankton distribution and abundance near the plant's effluent. - Water Res. 8:485-489.
- Buikema, A.L. Jr., S.R. Sherberger, G.W. Krauer, L.A. Newbern, J.T. Reading & J. Cairns, Jr., 1978. Effects of simulated entrainment on the biology of a freshwater cladoceran. - In: Energy and environmental stress in aquatic systems, Eds: J.H. Thorpe & J.W. Gibbons, Publ by Technical Information Centre, US Dep of Energy, Oak Ridge, TN (USA), DOE Symp. Ser.No 48, pp 785-793.
- Capuzzo, J.M., 1980. Impact of power-plant discharges on marine zooplankton: A review of thermal, mechanical and biocidal effects. - Helgoländer Meeresunters. 33:422-433.
- Carpenter, E.J., B.B. Peck & S.J. Anderson, 1974. Survival of copepods passing through a nuclear power station on northeastern Long Island Sound, USA. - Mar.Biol. 24:49-55.
- Carter, S.R., 1979. Macroinvertebrate entrainment study at Fort Calhoun Station. - In: Fourth National Workshop on Entrainment and Impingement, Ed.: L.D. Jensen, Chicago, pp 155-169.
- Cole, R.A., 1978. Entrainment at a once-through cooling system on western Lake Erie, Volume 1. - EPA-600/3-78-070.
- Consumers Power Co., 1972. Palisades Plant. Docket No 50-255. Special Report No 4, Environmental impact of plant operation up to July 1972. - Consumers Power Co., Jackson, Mich.

Coutant, C.C., 1977. Cold shock to aquatic organisms: Guidance for power plant siting, design and operation. - Nuclear Safety, 18:329-342.

Coutant, C.C. & H.A. Pfuderer, 1974. Thermal effects. - J.Water Pollut.Control Fed. 46:1476-1540.

Dale, T. & P.H. Burkill, 1982. "Live counting" - a quick and simple technique for enumerating pelagic ciliates. - Ann.Inst.océanogr., Paris, 58 (S):267-276.

Davies, R.M. & L.D. Jensen, 1975. Zooplankton entrainment at three mid-Atlantic power plants. - J.Water Pollut.Control Fed. 8:2130-2141.

Edsall, T.A. & T.G. Yocum, 1972. Review of recent technical information concerning the adverse effects of once-through cooling on Lake Michigan. - Lake Michigan Enforc. Conf., Sept. 19-21, 1972, Chicago, Fish Wildl. Service, Great Lakes Fish Lab., Ann Arbor, Michigan

Eiler, H.O. & J.J. Delfino, 1974. Limnological and biological studies of the effects of two modes of open cycle nuclear power discharge on the Mississippi River, 1969-1973. - Water Res. 8:995-1005.

EPA 1973. Reviewing environmental impact statements - power plant cooling systems, engineering aspects. - EPA 660/2-73-016. Natl Envir.Res.Ctr, Corvallis, Ore.

Evans, M.S., B.E. Hawkins & T.E. Wurster, 1979. Effects of Donald C Cook nuclear power plant on zooplankton of southeastern Lake Michigan. - In: Fourth National Workshop on Entrainment and Impingement, Ed.: L.D. Jensen, Chicago, pp 125-139.

Gaudi, R. & B. Moatti, 1979. Etude de la mortalité du zooplancton dans les circuits de refroidissement d'une centrale thermo-electrique. - In: Workshop on pollution of the Mediterranean, Antalya 24-27 Nov 1978, Publ by ICSEM, Monaco, pp 399-403.

Gentile, J.H., J. Cardin, M. Johnson & S. Sosnowski, 1976. Power plants, chlorine and estuaries. - U.S. EPA, Ecological Research, Washington D.C., Rept No 600/3-76-055.

Ginn, T.C., W.T. Waller & G.J. Lauer, 1974. The effects of power plant condenser entrainment on the amphipod, Gammarus sp. - Water Res. 8:937-945.

Grosse Ile Laboratory, 1972. Lake Michigan entrainment studies, Big Rock Nuclear Power Plant, Escabana Power Plant, Nov.-Dec. 1971. - Rept No 1, EPA Ofc. Res. and Monitor., Grosse Ile, Mich.

- Heinle, D.R., 1976. Effects of passage through power plant cooling systems on estuarine copepods. - Environ.Pollut. 11:39-58.
- Icanberry, J.W., 1973. Zooplankton survival in cooling water systems of four California coastal power plants, August 1971-July 1972. - 36th annual meeting ASLO, Salte Lake City.
- Industrial Bio-Test Laboratories, Inc., 1972. Intake-discharge experiments at Waukegan generating station. - Report to Commonwealth Edison Co., Proj. XI, IBT no W9861, Biol. Sec.
- Kelso, J.R.M. & G.S. Milburn, 1979. Entrainment and impingement of fish by power plants in the Great Lakes which use the once-through cooling process. - J.Great Lakes Res. 5:182-194.
- Kwik, J.K., 1978. Mortality of crustacean zooplankton resulting from pump entrainment at Pickering Lennox, and Nanticoke G.S. 1976. - Ontario Hydro Research Division Report 78-208-K.
- Leslie, J.K. & J.E. Moore, 1980. Measurements of particulates entrained in some Great Lakes power plants cooling water: an exercise in futility. - Environ.Pollut. Ser.A 22:179-185.
- Marcy, B.C. Jr., A.D. Beck & R.E. Ulanowicz, 1978. Effects and impacts of physical stress on entrained organisms. - In: Power Plant Entrainment: A Biological Assessment, Eds: J.R. Schubel & B.C. Marcy Jr., Academic Press, N.Y., pp 135-188.
- Markowski, S., 1959. The cooling water of power stations - a new factor in the environment of marine and fresh water invertebrates. - Ecology 28:243-258.
- Massengill, R.R., 1976. Entrainment of zooplankton at the Connecticut Yankee Plant. - In: The Connecticut River ecology study, Am.Fish.Soc. Monogr.No 1, Eds: D. Merriman & L. Thorpe.
- Middlebrook, K., 1975. Zooplankton entrainment. - In: Environmental monitoring and ecological studies program for the Praire Island Nuclear Generating Plant. NSP 1974 annual report, Northern States Power Co., Minneapolis, Minn., USA, pp 2.3.2-1 t.o.m. 2.3.16.
- Rogers, G.D., 1979. Entrainment of crustacean zooplankton through Fort Calhoun Station. - In: Fourth National Workshop on Entrainment and Impingement, Ed.: L.D. Jensen, Chicago, pp 141-154.



Scott-Wasilk, J., R. Kunshek, D.T. Michaud, A.E. Gaulke & J.H. Baletto, 1981. A comment on the paper by John R. Kelso and Gary S. Milburn: "Entrainment and impingement of fish by power plants in the Great Lakes which use the once-through cooling process." - J.Great Lakes Res. 7:491-495.

SNV, 1984. Värmeutvinning ur mark, vatten och luft. Miljövänlig om den görs rätt. - SNV PM 1833.

Standke, S.J. & B.J. Monroe, 1981. Forms of physical damage and related effects to zooplankton as a result of entrainment at Nanticoke G.S., 1976. - J. Great Lakes Res. 7:136-143.

Thomas, D.L. & G.J. Miller, 1977. Impingement studies at the Oyster Creek Generating Station, Forked River, New Jersey, from September to November 1975. - In: Third National Workshop on Entrainment and Impingement, Ed.: L.D. Jensen, Ecological Analyst Inc, Melville, New York, pp 317-341.

Tomljanovich, D.A., J.H. Heuer & C.W. Voightlander, 1977. Investigation on fish larvae at water intakes using fine-mesh screening. - Tennessee Valley Authority, Div.of Forestry, Fisheries, and Wildlife Development, Technical Note B22, Norris, Tennessee, USA.

University of Wisconsin-Milwaukee, 1972. Environmental studies at the Point Beach Nuclear Power plant, April 1972. - Dep. of Botany, Rep.No.PBR3.

UNESCO, 1979. Potential and observed ecological effects of once-through cooling systems. - In: Predicting effects of power plant once-through cooling on aquatic systems, Eds: W. Majewski & D.C. Miller, UNESCO Technical Papers in Hydrology 20, pp 20-52.

Uziel, M.S., 1980. Entrainment and impingement at cooling water intakes. - J.Water Pollut.Control Fed. 52:1616-1630.

VBB, 1984. Sex uppsatser om markvärme. - VBB Värmeteknik, Stockholm.



Tabell 1. Resultat av undersökningar av zooplankton i in- och utgående vatten.

860716	IN				UT			
	Total n	%	Ofärgade n	%	Total n	%	Ofärgade n	%
Cyclops	403		2	1	440		25	6
därav med ägg	10	2	0		14	3	0	
Daphnia	186		3	2	183		4	2
därav skadade	18	10	0		32	17	2	
Chydorus	67		11	16	34		2	6
Diaptomus	4		0		8		0	
Nauplier	16		3		13		1	
Bosmina	2		0		3		0	

Skador: 2 halverade Cyclops  
1 dekapiterad Daphnia

860901	IN				UT			
	Total n	%	Ofärgade n	%	Total n	%	Ofärgade n	%
Cyclops	140		29	29	151		32	27
därav med ägg	40	29	2		32	21	1	
Daphnia	131		1	1	161		13	8
därav skadade	20	15	0		34	21	9	
Chydorus, fyllda	504		72	14	761		73	10
Chydorus, tomma	52	9			41	5		
Diaptomus	6		0		7		0	
Nauplier	16		1	6	20		7	35
Bosmina	2		1		1		0	

861006	IN				UT			
	Total n	%	Ofärgade n	%	Total n	%	Ofärgade n	%
Cyclops	249		53	21	247		172	70
därav med ägg	50	20	0		0	0	0	
Daphnia	278		0		288		0	
därav skadade	58	21	4	7	205	71	15	7
Chydorus	29		4	14	19		19	100
Diaptomus	17		0		8		0	
Nauplier	76		21	28	127		93	73
Bosmina	37		3	8	48		18	38

Skador: 2 Diaptomus med skadad antenn  
1 delvis halverad Diaptomus  
1 delvis halverad Daphnia  
1 Bosmina med brutet rostrum

Tabell 1. forts

870202	IN				UT			
	Total		Ofärgade		Total		Ofärgade	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Cyclops	31		11		39		8	
därav med ägg	0				0			
Daphnia	23		7		18		1	
därav skadade	1				1			
Chydorus	0				0			
Diaptomus	7		0		7		0	
Nauplier	136		129	95	320		252	79
Bosmina	1		0		2		0	

Skador: 1 halverad Cyclops  
 1 söndertrasad Cyclops  
 3 krökta Keratella

870409	IN				UT			
	Total		Ofärgade		Total		Ofärgade	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Cyclops	82		55	67	26		18	69
därav med ägg	10	12	10		1	4	1	
Cyclops, ungar	244		158	65	434		313	72
därav skadade	0		0		4		4	
Daphnia	3		1		1		0	
Diaptomus	2		0		3		2	
därav skadade	0		0		2		2	
Nauplier	212		200	94	164		137	84
Bosmina	8		0		2		1	
Conochilus	114		1		106		1	
Kellicottia longispina	123		40	33	96		9	9
därav med ägg	52	42	2		29	30	1	
Keratella quadrata	21		0		18		1	
därav med ägg	14	67	0		9	50	0	

Skador: 3 Cyclops med bakspröt av  
 1 Cyklops med kapad bakdel  
 1 kraftigt krökt Cyclops  
 1 dekapiterad Daphnia  
 1 dekapiterad Bosmina  
 1 söndervriden Leptodora  
 1 nästan helt delad Leptodora

Tabell 1, forts

870629	IN				UT			
	Total		Ofärgade		Total		Ofärgade	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Cyclops	116		1		82		2	
därav skadade	0	0	0		3	4	3	
därav med ägg	3		0		0		0	
Daphnia	191		0		194		7	
därav skadade	12	6	0		48	25	5	
Chydorus	60		4	7	57		3	5
Diaptomus	23		0		13		1	
Nauplier	18		0		7		2	
Bosmina	14		0		16		1	
Leptodora	1		0		3		3	
därav skadade	0		0		2		2	
Kellicottia								
longispina	91		19	21	67		40	60
därav med ägg	7	8	2		17	25	8	
Keratella								
quadrata	27		4		29		8	
därav med ägg	7	26	0		10	34	3	

Skador: 1 delad Diaptomus  
 1 Diaptomus med skadat bakre utskott  
 2 halverade Cyclops  
 1 kraftigt krökt Cyclops

Tabell 2. Resultat av överlevnadsförsök, påbörjat 860903.

Dag 2	IN				UT			
	Total		Ofärgade		Total		Ofärgade	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Cyclops	24		4	17	43		5	12
därav med ägg	8	25	1		8	16	1	
Daphnia	17		3	18	20		2	10
därav skadade	0		0		4		0	
Chydorus	203		23	11	324		81	25
Diaptomus	1		0		0		0	
Nauplier	4		1		6		0	
Bosmina	1		0		0		0	

Dag 4	IN				UT			
	Total		Ofärgade		Total		Ofärgade	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Cyclops	20		4	20	9		2	22
därav med ägg	5	20	0		8	47	0	
Daphnia	6		1	17	11		0	0
därav skadade	1		0		0		0	
Chydorus	395		23	6	361		35	10
Diaptomus	2		0		0		0	
Nauplier	5		0		4		0	
Bosmina	0		0		0		0	

Dag 7	IN				UT			
	Total		Ofärgade		Total		Ofärgade	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Cyclops	27		13	48	42		10	24
därav med ägg	8	23	0		17	29	1	
Daphnia	5		0		16		0	
därav skadade	0		0		1		0	
Chydorus	250		25	10	207		41	20
Diaptomus	1		0		0		0	
Nauplier	3		0		5		1	
Bosmina	0		0		0		0	

Tabell 3. Förändringar av andelen ofärgade individer av Cyclops och Chydorus under överlevnadsförsöket, med värden från Tabell 2.

		0	2	4	7
Cyclops	In	29	17	20	48
	Ut	27	12	22	24
Chydorus	In	14	11	6	10
	Ut	10	25	10	20

Tabell 4. Dödlighet hos zooplankton efter passage genom kylvattensystem, samt en studie av turbinpassage i vattenkraftverk (Bertilsson 1979).

Typ av zooplankton	Procent dödlighet	Källa
Rotatorier	5-10 7-8	Berghahn 1979 Cole 1978
Bosminider	6.5 10-25	Kwik 1978 Bertilsson 1979
Leptodora	60 100	Kwik 1978 Massengill 1976
Daphnia	33	Bertilsson 1979
Cladocerer	ca 100	Middlebrook 1975
Acartia	0-60	Icanberry 1973
Nauplier	7-8	Cole 1978
Copepoder	26-30 15-70 12 7-100	Kwik 1978 Carpenter et al. 1974 <sup>1</sup> Cole 1978 Prager et al. 1970, 1971
"Planktiska kräftdjur"	1-4	Rogers 1979 <sup>2</sup>
Insektslarver	ca 100	Middlebrook 1975
S:a driftfauna, makroinvertebrater	3-8	Carter 1979 <sup>2</sup>
Zooplankton, allmänt	21 <1 24 6	Middlebrook 1975 Massengill 1976 Beck & Miller 1976 Industrial Bio-Test 1972

<sup>1</sup> Den lägre siffran anger momentan dödlighet och den högre dödligheten efter 5 dagars inkubering.

<sup>2</sup> Utan resp. med uppvärmning av kylvattnet.

Tabell 5. Fysiska skador på zooplankton efter passage genom kylsystem.

Typ av zooplankton	Procent skadade	Källa
Bosmina	0.25	Standke & Monroe 1981
Cyclops	0.2-3.1	-"-
Diaptomus	0.0-0.3	-"-
Mesocyclops	1.5-3.9	-"-
Daphnia retrocurva	3.1-6.4	-"-
D. galeata mendotea	2.9-4.3	-"-
D. longiremis	3.2-7.0	-"-
Leptodora	22.4	-"-
Daphnia, brutet bakre utskott	22.6-61.5	-"-
Diatpomus, äggförlust	86	-"-
Zooplankton, allmänt	20.5	Middlebrook 1975
	29.5	Grosse Ile Lab 1972
	6.0	Industrial Bio-Test 1972
	8-19	Edsall & Yocum 1972
	<1	Massengill 1976
	40	Beck & Miller 1974
	5-7	Consumers Power 1972
	4-14	Univ. of Wisconsin 1972



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 860591-6  
från Statens råd för byggnadsforskning till VBB AB,  
Stockholm.**

**R49: 1989**

**ISBN 91-540-5035-9**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6709049**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
171 88 Solna**

**Cirkapris: 33 kr exkl moms**