



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.





Insamling av zooplankton för uppfödning av fisklarver i kylvattenrecipienter

Jan Andersson

Insamling av zooplankton för uppfödning av fisklarver i kylvattenrecipienter

*Jan Andersson
Fiskeriverket
Kustlaboratoriet
Simpevarp
570 93 Figeholm*

Innehåll

<i>Sammanfattning</i>	<i>3</i>
<i>Inledning</i>	<i>5</i>
<i>Material och metoder</i>	<i>6</i>
<i>Ljusanlockning</i>	<i>6</i>
<i>Avfiltrering av strömmande vatten</i>	<i>9</i>
<i>Resultat och diskussion</i>	<i>11</i>
<i>Ljusanlockning</i>	<i>11</i>
<i>Avfiltrering av strömmande vatten med roterande håvar</i>	<i>15</i>
<i>Slutsatser</i>	<i>16</i>
<i>Litteratur</i>	<i>18</i>

Beställningsadress:

FISKERIVERKET
Kustlaboratoriet
Box 584
740 71 Öregrund

februari 1993

ERKÄNNANDEN

Gerhard Sandell, Terra-Limno Gruppen AB, har i hög grad bidragit till utvecklingen av båda anrikningssystemen. Lars Nielsen, vid den aktuella tidpunkten anställd på Danmarks Fiskeri og Havundersøgelser i Charlottenlund, har bidragit med utrustning och tekniska lösningar. Inger Abrahamsson vid Kustlaboratoriet har svarat för alla planktonanalyser och har, tillsammans med Uno Jansson, Christer Westerberg och Svante Westerberg, i stor utsträckning bidragit till utveckling, uppbyggnad och drift av avfiltreringssystemet i Forsmark. Berth Nyman, Kustlaboratoriet, har givit rapporten dess grafiska utformning. Arbetet har finansierats av Elkraft A/S, Imatran Voima OY, OKG AB, Sydkraft AB och Vattenfall. Till samtliga medarbetare och finansiärer riktas ett stort tack.

Kustrapport 1993:3

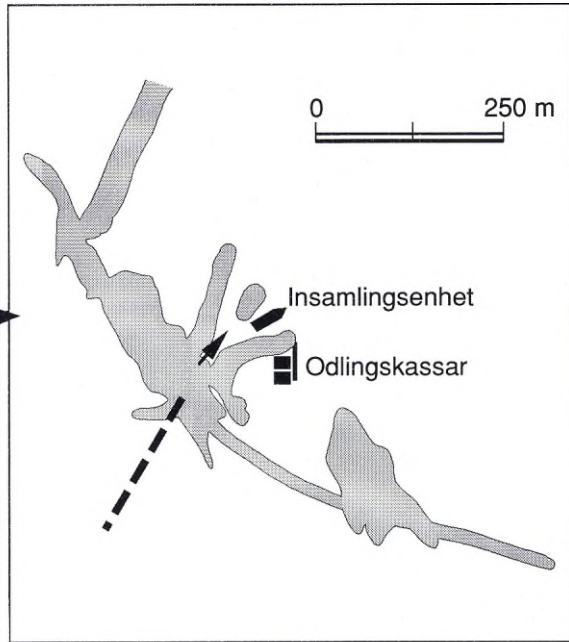
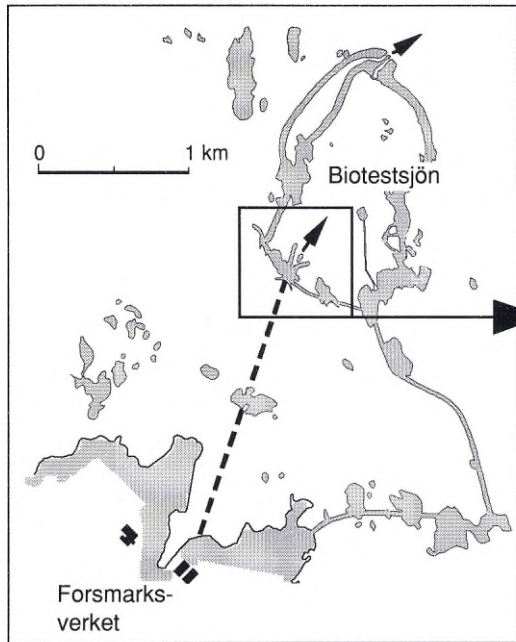
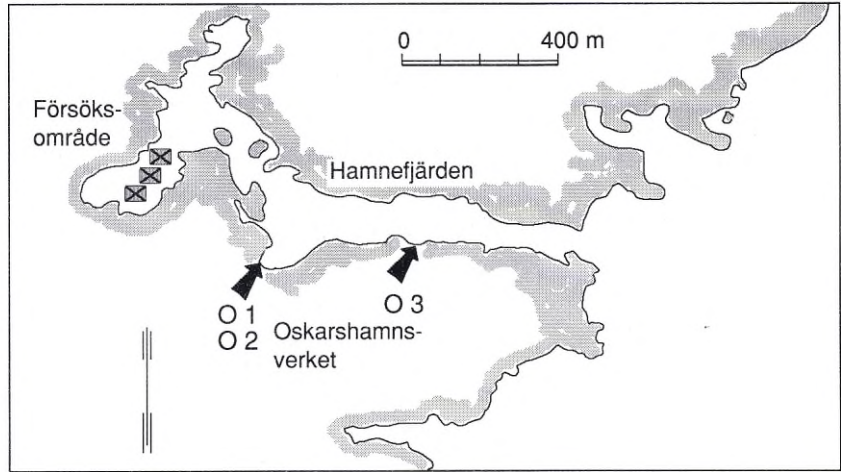
ISSN 1102 — 5670

SAMMANFATTNING

Två system för anrikning och insamling av naturligt zooplankton i kylvattenrecipienter har utvecklats för odling av fiskyngel. Det första bygger på anlockning med undervattensljus och pumpning av organismerna till flytande odlingsenheter. Systemet är automatiskt och drivs av elström från landnätet. Den tekniska tillgängligheten har varit god. Planktonorganismerna har storlekssorteras genom att nätkassar monterats runt lamporna. Vid Oskarshamnsverket har i genomsnitt insamlats 45—565 g zooplankton per lampa och natt. Insamlingssystemet bedöms vara användbart i produktiva områden med måttlig vattenomsättning.

Det andra systemet avfiltrerar plankton ur kylvattenströmmen med roterande håvar. Rotationen drivs av vattnets rörelseenergi, och håvarna rengörs kontinuerligt med högtrycksspolning. Det på plankton anrikade vattnet från håvarna pumpas kontinuerligt till ett sorteringsverk, där oönskade storleksfraktioner avlägsnas, varefter vattnet fördelas till odlingsenheterna. Funktionen har prövats vid Forsmarksverket och befunnits vara lovande. I medeltal insamlades 280 g zooplankton per dygn under en period av ca fem veckor.

Båda systemen befinner sig i ett tidigt stadium av utveckling och har inte uppnått sin fulla potential. Förbättringar föreslås och diskuteras.



Försöksområden

INLEDNING

Biologiska effekter av utsläpp av uppvärmt kylvatten från de svenska kärnkraftverken har studerats ingående sedan den första reaktorn togs i drift 1971. En erfarenhet av dessa studier är att den förhöjda temperaturen i recipienterna har en positiv effekt på tillväxt, och därmed överlevnad, hos fiskyngel. Kylvattnet transporterar vidare stora kvantiteter zooplankton. På grundval av dessa observationer väcktes på 1980-talet tanken att utnyttja temperaturhöjningen och plankton i kylvattenströmmen för produktion av fiskyngel. För att undersöka dessa möjligheter bildades "Ledningsgruppen för tillämpad forskning värmekraft/miljö" med representanter för kraftindustrin i Danmark, Finland och Sverige samt Fiskeriverket, Naturvårdsverket, Uppsala Universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. Gruppen har sedan 1988 drivit ett projekt, som finansieras av värmekraftföretag i nämnda länder. En del av projektet har varit att söka finna lösningar för anrikning av zooplankton, dels ute i recipienterna, dels genom avfiltrering i kylvattenströmmen.

Försöken med anrikning av zooplankton har drivits efter två skilda strategier. Den första bygger på att koncentrera organismerna med hjälp av en ljuskälla, antingen direkt till flytande kassar innehållande de fiskyngel man har för avsikt att föda upp, eller i kombination med en pump, som kan transportera planktonanrikat vatten till en eller flera odlingsenheter. Metoderna har fördelen att de kan tillämpas generellt i miljöer med god tillgång till zooplankton, förutsatt att de fysiska förhållandena inte är begränsande. Direktanlockning har använts i samband med produktion av sikyngel i flera länder (Uryn 1979, Jäger och Nellen 1980, Kostianen och Jalava 1980). Försök med uppfödning av gädda, gös och siklöja har gjorts i Tyskland (Steffens 1976, Jäger och Nellen 1980). Ljuslockning i kombination med pumpning har använts vid försök med uppfödning av ålyngel i Danmark (Nielsen pers. komm.). Försöken med ljuslockning har bedrivits i kylvattenrecipienten för Oskarshamnsverket.

Den andra strategin baseras på passiv filtrering av vattnet direkt i kylvattenströmmen och är av den anledningen begränsad till rinnande vatten. Avsevärda planktonmängder transporteras med kylvattnet och beräkningar har visat att man med förhållandevis små håvar bör kunna avlänsa för odlingsändamål intressanta kvantiteter. Koncentrationen av zooplankton är dock högre på intagssidan, eftersom en varierande andel går förlorad vid passagen genom kraftverken (Karås 1992). Filtrerande organismer på tunnelväggarna, främst havstulpaner och hydroider, svarar för huvuddelen av förlusterna. Filtrerarna bidrar dock med en tillförsel av planktoniska larver. Den utvecklingsväg som antagits bygger på en vidareutveckling av kontinuerligt filtrerande, roterande håvar, som i liten skala men framgångsrikt använts vid ett värmekraftverk i Danmark (Nielsen 1990). Systemet har nu prövats i full skala vid odlingsförsök i kylvattenrecipienten för Forsmarksverket.

Projektet har, förutom anrikning av zooplankton, även omfattat praktiska försök med odling av yngel av abborre och gös. Ljusets betydelse för tillväxt och överlevnad har studerats, likaså betydelsen av besättningstäthet i odlingsystemen. Försök har också genomförts med odling i större skala

med naturligt zooplankton från i projektet utvecklade anrikningssystem som enda födokälla. Odlingsförsöken redovisas i en separat rapport (Andersson & Sandell 1993).

MATERIAL OCH METODER

Ljuslockning

Försöksområde

Försöken med ljuslockning har utförts i Hamnefjärden, som är recipient för kylvattnet från Oskarshamnsverket (se karta, sid 4). Fjärden är en långsmal vik av Östersjön med en yta av ca 0,1 km². Salthalten i området är 7—8‰. Kylvattenströmmen mynnar mitt i fjärden, vilket innebär att de inre delarna utgör ett bakvatten med förhållandevis små vattenrörelser. Den kontinuerliga vattentillförseln medför att primärproduktionen är hög och därmed också den lokala zooplanktonproduktionen. Planktonresursen utgörs således både av lokal produktion och av tillförsel via kylvattnet.

Anlockning med övervattensljus över flytande nätkassar

Under försommaren 1988 utfördes försök med anlockning av zooplankton direkt genom maskorna in i kassar avsedda för odling av fisklarver. Vid försöken användes kubiska kassar tillverkade av nylonduk. Kassarnas volym under vattenlinjen var cirka 100 l. Tre olika maskstorlekar testades: 300, 500 och 800 µm. En standardglödlampa (220 V, 60 W) placerades centralt över burarna, cirka 1 dm över vattenytan, och vattenytan i burarna belystes under hela natten. Planktontätheten i burarna registrerades dels på efternatten före gryningen, dels på eftermiddagen, genom pumpning och filtrering av en känd vattenvolym genom en planktonhåv med maskstorleken 45 µm. Motsvarande prover insamlades vid samma tillfälle från två olika referenspunkter. Anrikningsfaktorer för olika kategorier bestämdes genom att tätheten i burarna dividerades med medelvärdet för de två motsvarande referensproverna. Provtagning genomfördes vid nio tillfällen dagtid och vid nio tillfällen på natten under perioden 3 maj—5 juli.

Ett problem med anlockning direkt in i odlingskassar har visat sig vara att de anlockade organismerna har möjlighet att åter lämna kassen samma väg de kom in. För att motverka en sådan flykt konstruerades en kasse med större maskor i den övre delen och mindre i den nedre. Tanken var att zooplankton som lockas in i kassen nära ytan förhindras att lämna kassen neråt. Zooplankton söker sig normalt från ytan mot djupare vatten under dagtid. Kassen var cylindrisk med diametern 40 cm och höjden 80 cm. Maskstorleken var 500 µm i de översta 35 cm av väggen och 200 µm i övriga delar. Funktionen testades genom en jämförelse med burar med homogen maskstorlek. Den kombinerade kassen och två homogena kassar av samma typ som ovan med maskstorlekarna 300 respektive 500 µm belystes kontinuerligt med samma typ av belysning som användes vid försöken ovan. Tätheten i kassarna bestämdes varannan timme från 22⁰⁰ till 20⁰⁰ påföljande kväll. Ett stickprov om 25 eller 50 l togs med hjälp av en pump centralt i kassarna, varpå vattnet filtrerades genom en planktonhåv med 45 µm maska. Försöket genomfördes 4—5 juli 1988.

Anlockning med undervattensljus kombinerat med pumpning

Under våren och sommaren 1989 gjordes försök med insamling av zooplankton med hjälp av undervattensljus i kombination med pumpning. Två olika system testades, men den grundläggande principen var densamma för båda. System 1 bestod av en mindre, självsugande, vattenringpump, placerad på en flytanordning. Pumpens sugledning hade diametern 25 mm, med intaget placerat ca 50 cm under vattenytan. En undervattensstrålkastare (100 W, 24 V) monterades för horisontell, ensidigt riktad, belysning i direkt anslutning till insugningspunkten. Runt sugledning och lampa placerades en bur av nylonnät med maskstorleken 800 alternativt 1 000 μm . Burens funktion var att förhindra insugning av fisk och andra större organismer. Lampan var kopplad till en fotocell och lyste därför endast under dygnets mörka timmar. Pumpens arbete styrdes av ett programmerbart tidsrelä som tillät intervall ner till en minut. Kvantifiering av insamlad planktonmängd genomfördes vid nio tillfällen under perioden 28 april—15 juli. Vid åtta av dessa arbetade pumpen tio minuter varje hel timme mellan 23⁰⁰ och 03⁰⁰. Vid det första tillfället pumpades kontinuerligt under en hel natt.

System 2 utgjordes av en i Danmark utvecklad pump, speciellt utformad för pumpning av levande organismer. Pumpen har en vertikalt orienterad elmotor (180 W, 340 V, 900 rpm) med en förlängd axel placerad inuti ett järnrör med diametern 100 mm, i änden försedd med en tvåbladig propeller. Propellern lyfter vattnet till en behållare placerad omedelbart under motorn, varifrån det med självtryck kan fördelas på upp till åtta odlingsenheter. En fotocellstyrd undervattensstrålkastare (300 W, 12 V) monterades för horisontell, ensidigt riktad, belysning i anslutning till insugningspunkten ca 50 cm under vattenytan. Lampan var av en typ som användes för undervattensbelysning i badanläggningar. Lampan omgavs av en nätkasse med maskstorleken 800 μm . Pumpen arbetade i intervall om 5 minuter vid nio tillfällen jämt fördelade över perioden 23⁰⁰—03⁰⁰. Sex kvantifieringar genomfördes under perioden 13 juni—15 juli.

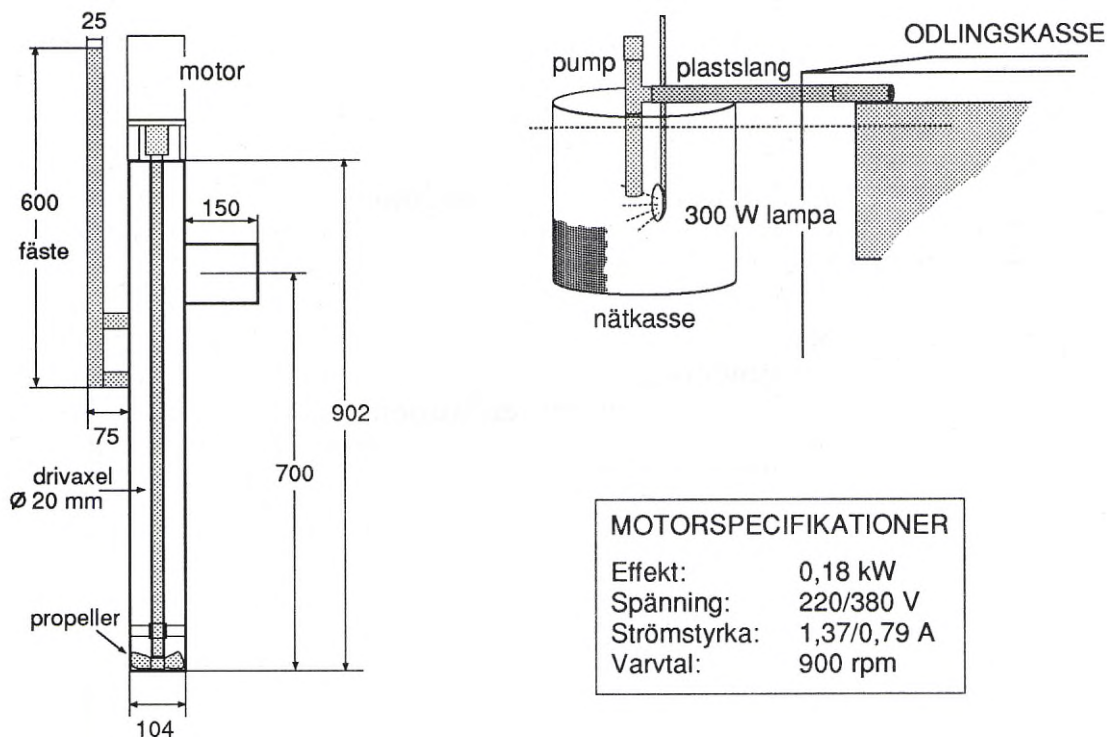
Pumpens tryckledning leddes med båda systemen till en planktonhåv med maskstorleken 200 μm , vari de anlockade organismerna uppsamlades för kvantifiering. Maskstorleken i uppsamlingshåvarna uteslöt fångst av små organismer som rotatorier och copepodnauplier. Antal för ingående grupper bestämdes efter spädning till hanterbara tätheter.

Ljusbetydelsens betydelse testades våren 1990 genom en jämförelse av insamlade planktonmängder med en eller två 300 W strålkastare i anslutning till pumpens insugningsrör. Fem försök gjordes med vardera uppsättningen. Nätkassen runt lamporna hade maskstorleken 800 μm . Ytterligare två omgångar om fyra försök gjordes, vardera med en eller två lampor. Vid dessa omgångar användes en kasse med maskstorleken 200 μm runt insamlingsenheten. Det planktonanrikade vattnet leddes i samtliga försök till en planktonhåv med maskstorleken 100 μm . Torrviktsbestämning utfördes för en känd andel av varje prov, och antal för ingående systematiska grupper bestämdes efter spädning till hanterbar koncentration.

Användning av undervattensbelysning som kräver lågspänning (12 el 24 V) förutsätter transformatorer, som är både dyra och utrymmeskrävande. Ett insamlings- och odlingssystem utbyggt över ett större vattenområde kräver dessutom att varje insamlingsenhet förses med en transformator. Av nämnda anledningar har vi valt att inte satsa på lågspänd elektricitet. Användning av jordfelsbrytare möjliggör användning av 220 V undervattensbelysning, direkt ansluten till elnätet i land. Marknadens utbud av för ändamålet lämplig armatur är begränsad. Av denna anledning har specialbyggd armatur tagits fram för de odlingsprojekt som rymts inom projektets ram. Ljuskällan utgörs av en 300 W stavformad halogenlampa av standardtyp. Glödlampan har kapslats in i en kupolformad glasinneslutning och försetts med en reflektor av rostfri plåt. Armaturen benämnes "typ 1". Under projektets gång har ytterligare två för ändamålet lämpliga armaturer påträffats. Den ena av dessa ("typ 2") är klassad att tåla översköljning, men är inte i första hand avsedd att användas under vatten. Den användes i kommersiellt fiske för anlockning av sill och skarpsill. Tester har visat att den med begränsade tätningsåtgärder kan användas på vattendjup ner till åtminstone 1 m. Ljuskällan är av samma typ som i "typ 1"; vid försöken har dock tester gjorts med två olika effekter, 200 och 300 W. Den tredje ljusanordningen ("typ 3") är en kompakt spotlight, som dock på grund av hög kostnad bedömts vara mindre intressant, såvida den inte vida överträffar de andra armaturerna avseende effektivitet för anlockning av zooplankton. Denna armatur erbjuder användning av olika typer av glödlampa. En halogenlampa av standardtyp har använts vid försöken.

De tre armaturerna har testats avseende förmågan att anlocka plankton. Som referens har använts den lampa som ingår i system 2 ovan. Testet har tillgått så att referensen och en av armaturerna samtidigt fått anlocka plankton under en natt under så likartade yttre förhållanden som möjligt. Nätkassen runt insamlingsenheten hade maskstorleken 800 μm och anlockat zooplankton har pumpats till en planktonhåv med maskstorleken 100 μm . Pumpen har arbetat en minut varje kvart mellan 23⁰⁰ och 04¹⁵. Våtvikten har bestämts direkt på färskt material som fått rinna av till dropporrhett i ett 100 μm såll. Skillnader mellan armaturernas anlockningseffektivitet har testats med Wilcoxons teckenrangtest.

Styrningen av pumpens gångtid kan sannolikt ha betydelse för insamlings-effektiviteten. Sugtiden bör i teorin anpassas till den tid det tar innan planktontätheten i det pumpade vattnet sjunkit till det omgivande vattnets nivå. Intervallen mellan pumpningarna bör i sin tur anpassas till hur lång tid det tar för organismerna att åter koncentreras till maximala tätheter. Det förra förloppet studerades genom att planktontätheten i det pumpade vattnet registrerades med täta tidsintervall efter det att pumpningen inletts. Ett stickprov om 500 ml vatten togs ur vattenströmmen för varje prov. Återsamlingstiden studerades genom täthetsregistreringar med ökande paus efter pumpning till bakgrunds nivå. Då pumpningen startades efter varje paus togs ett prov omfattande de första 10 litrarna. Antal individ för ingående systematiska grupper bestämdes. För vardera förloppet genomfördes två provomgångar under en och samma natt. Som insamlingsenhet användes "system 2" med 800 μm nätkasse runt intaget.



Figur 1. System för insamling av zooplankton med undervattensljus och pump.

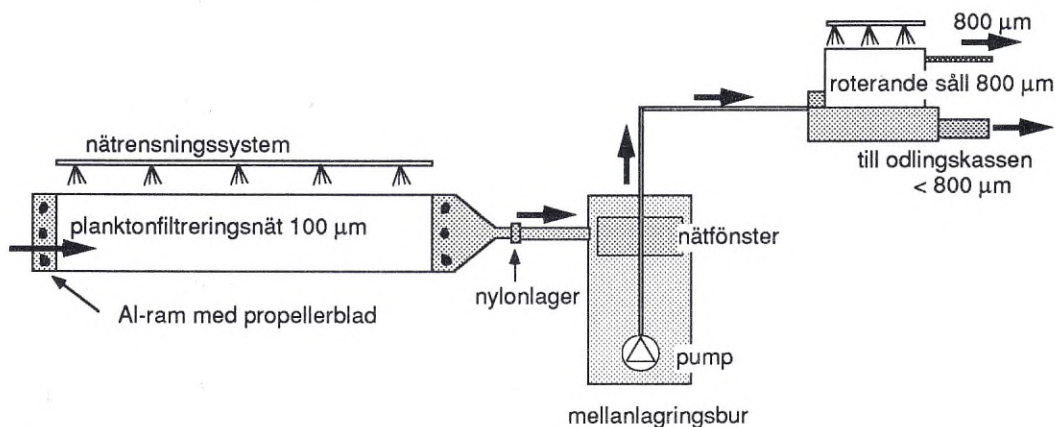
1991 och 1992 genomfördes försök att odla gösyngel i kylvattenrecipienten för Oskarshamnsverket med ljusanlockat plankton som enda födokälla. Vid försöken utnyttjades en vidareutvecklad version av system 2 (figur 1), där en undervattensarmatur av typ 1 ovan användes som ljuskälla och där pumparna förenklats och försetts med tidsstyrning, som medgav intervall ner till 1 s. Lampan styrdes av en fotocell och lyste kontinuerligt under hela natten. Pumparna styrdes att arbeta 22 sekunder varje kvart från mörkrets inbrott till gryningen. Systemet är helt automatiskt och arbetet under drift inskränker sig till regelbunden rengöring av nätkassen runt insamlingsenheterna. Kvantifieringar av insamlat zooplankton genomfördes så ofta som möjligt under odlingsperioden båda åren. Nätkassen runt insamlingsenheten hade maskstorleken 800 μm , och det anrikade vattnet pumpades till en planktonhåv med maskstorleken 100 μm . Våtvikt bestämdes direkt på färskt material, som fått rinna av till dropptorrhet i ett såll med maskstorleken 100 μm .

Avfiltrering av strömmande vatten med roterande håvar **Försöksområde**

Under 1991 inleddes utvecklingen av ett system för insamling av zooplankton genom kontinuerlig filtrering av strömmande vatten. Försöken genomfördes i den kanal genom vilken kylvattnet från blocken I och II vid kärnkraftverket i Forsmark mynnar i Biotestsjön (se karta, sid 4). Biotestsjön är ett invallat skärgårdsområde, som tar emot allt kylvatten från nämnda block, vilket innebär att vattentemperaturen vid normal drift är ca 10 °C högre än i omgivande vatten. Sjöns totala yta är ca 1 km². Forsmark är beläget i den sydvästra delen av Bottenhavet och salthalten i området är 4–5‰.

Insamling av zooplankton

Insamlingssystemet bygger på principen att håvar fixeras i strömmen och att dessa bringas att rotera genom utnyttjande av vattnets rörelseenergi. Insamlingsenheten utgjordes av en 4 m lång cylinder av nylonduk med maskstorleken 100 μm och med 60 cm diameter (figur 2). Cylinderns båda ändar monterades på en aluminiumring försedd med ställbara propellerblad. En fästeanordning försedd med ett teflonlager var monterad centralt i cylinderns mynning. Tre aluminiumrör (\varnothing 40 mm) förband den främre och den bakre ringen och gav därigenom stadga åt insamlingsenheten. Den bakre ringen var försedd med en bakåt avsmalnande kon som övergick i ett rör. Detta rör kunde rotera i en nylonlagring. Hela insamlingsenheten fixerades i strömmen med rigg tillverkad av 50 mm aluminiumrör och 60 cm bojar med genomgående hål.



Figur 2. System för insamling av zooplankton genom avfiltrering av strömmande vatten.

Från insamlingsenheten leddes det planktonanrikade vattnet till en med nätfönster försedd flytande kasse av PVC-material. Kassen tog emot flödet från två håvar. Nätfönstret hade vid försöken av praktiska skäl en maskstorlek av 200 μm , vilket innebar en mindre förlust av småvuxna planktonfraktioner. Från kassen lyftes vattnet med en dränkbar pump till en roterande trumsil. Pumpen var försedd med varvtalsreglering, vilket medgav kontroll av flödet. Flödet varierade vid försöken mellan 6 och 8 m^3/tim . Den roterande silen avskiljde grövre partiklar från vattnet. Silningen kan göras i flera steg för erhållande av önskade storleksfraktioner. Från silarna leddes vattnet med självtryck till odlingsenheterna. Insamlingscylindern spolades kontinuerligt via ett med dysor försett plaströr. Spolningen drevs av en centrifugalpump som gav 300 l/min vid 4–5 bar övertryck. Spolningen av trumsilen drevs av en mindre pump med kapaciteten 50 l/min.

I samband med ett odlingsförsök sommaren 1992 utfördes regelbundna registreringar av planktonförekomsten i det vatten som tillfördes odlingsenheterna. Vid försöket användes två parallella insamlingsenheter. Vattnet från dessa leddes under en känd period till en gemensam planktonhåv med maskstorleken 100 μm . Antalet insamlade organismer per tidsenhet beräknades, och erhållna värden omräknades till volym för ingående grupper enligt Hernroth (1975). Våtvikten skattades med förutsättningen att organismernas täthet är densamma som vattnets.

RESULTAT OCH DISKUSSION

Ljuslockning

Anlockning med övervattensljus över flytande nätkassar

Anriktningsfaktorerna var i flertalet fall högre i kassarna med minst maskstorlek. Hoppkräftor (*Copepoda*) och hinnkräftor (*Cladocera*) synes ha anrikats effektivast, men den senare gruppen förekom dock i förhållandevis låga antal (tabell 1). Gruppen hoppkräftor omfattar både adulter och copepoditlarver. Variationen mellan olika tillfällen var stor. Rotatorier (*Synchaeta spp*) observerades i höga tätheter vid de tre första provtagningstillfällena i början av maj, men förekom därefter endast sporadiskt. Den högre tätheten i de finmaskiga kassarna tolkas som att dessa har haft en större kvarhållande effekt på de organismer som anlockats av ljuset. Naupliuslarver av hoppkräftor förekom i lägre antal än de äldre stadierna och nauplier av havstulpaner (*Balanidae*) förkom sparsamt.

Tabell 1. Genomsnittlig planktontäthet och anriktningsfaktorer i nätkassar med övervattensbelysning och 300, 500 och 800 µm maskvidd. För prover tagna under dagtid anges endast torrsvikt.

300 µm	Antal prover	Medeltäthet		Anriktningsfaktor		
		mg/m ³	n/m ³	medel	lägst	högst
Torrsvikt dag	9	401		3	1	9
Torrsvikt natt	9	7897		39	2	117
<i>Synchaeta spp</i>	3 ¹		6295	24	17	36
<i>Cladocera</i>	9		19	106	20	360
<i>Copepoda</i> (ad + cop)	9		2930	106	5	468
<i>Copepoda</i> (nauplier)	9		746	13	1	32
<i>Balanidae</i>	9		19	3	0	9
Summa			10009			
500 µm						
Torrsvikt dag	9	427		2	1	3
Torrsvikt natt	9	6353		30	3	114
<i>Synchaeta spp</i>	3 ¹		7180	32	15	56
<i>Cladocera</i>	9		12	35	0	70
<i>Copepoda</i> (ad + cop)	9		1721	49	5	154
<i>Copepoda</i> (nauplier)	9		891	15	0	41
<i>Balanidae</i> (nauplier)	9		16	6	0	17
Summa			9820			
800 µm						
Torrsvikt dag	9	393		2	1	3
Torrsvikt natt	9	3385		16	2,5	33
<i>Synchaeta spp</i>	3 ¹		3671	13	7	24
<i>Cladocera</i>	9		21	180	40	560
<i>Copepoda</i> (ad + cop)	9		1130	32	2	117
<i>Copepoda</i> (nauplier)	9		392	8	0	32
<i>Balanidae</i> (nauplier)	9		13	3	0	5
Summa			5227			

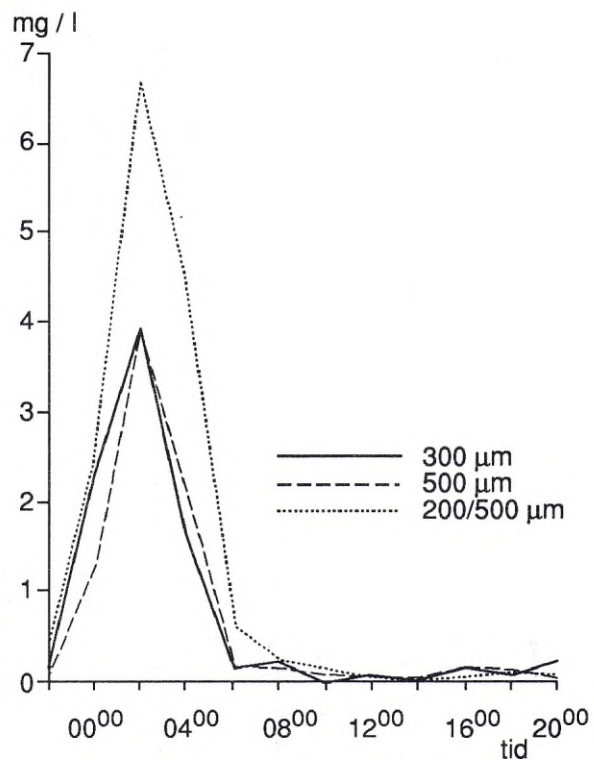
¹ Medelvärden beräknade för tre prover från början av maj

Figur 3 beskriver planktontätheten under natt och dag i belysta burar med kombinerad och homogen maskstorlek. Tätheten var högst under perioden 24⁰⁰–04⁰⁰ i samtliga kassar. Den kombinerade kassen hade under denna period genomgående högre tätheter än de båda övriga. Den genomsnittliga tätheten 24⁰⁰–04⁰⁰ var 4,6 mg torrsvikt/l i den kombinerade kassen och 2,5 respektive 2,6 mg torrsvikt/l i de båda övriga. Under dagen

sjönk tätheten till låga nivåer i alla tre kassarna. Försöket visar att en kombination av större maskor i den övre delen av kassen och mindre i den undre delen har haft en klart positiv effekt på anrikningen av zooplankton under natten, men att organismerna ändå lämnar kassen under dagtid.

Anlockning med undervattensljus kombinerat med pumpning

Tabell 2 sammanfattar försöken att samla in zooplankton med systemen 1 och 2 för undervattensbelysning i kombination med pumpning. Copepoditer och adulta copepoder dominerade starkt i proverna, varför redovisningen inskränker sig till denna grupp. System 1 insamlade 0,7—5,3 miljoner individer per natt, med ett medelvärde av 2,14 miljoner. De insamlade mängderna var i medeltal högre med system 2 (4,02 miljoner ind./natt), men endast tre provtagningstillfällen överlappade tidsmässigt. Vid dessa tillfällen var skillnaden liten. Organismerna var mera koncentrerade med system 1, vilket sannolikt är en effekt av pumpens mindre kapacitet. En större kapacitet innebär att det på plankton anrikade vattnet runt lampan snabbt suggs upp, varpå det vatten som följer innehåller betydligt mindre mängder plankton. En förhållandevis hög dödlighet konstaterades vid sumpning av plankton som samlats in med system 1 för att användas som föda för



Figur 3. Planktontätheter under ett dygn i belysta kassar med homogena eller kombinerade maskstorlekar.

Tabell 2. Resultat av insamling av zooplankton med undervattensljus och pumpning med System 1 och System 2 1989. Pumpad vattenvolym och insamlade kvantiteter för gruppen copepoditer och adulta copepoder.

Dag	SYSTEM 1			SYSTEM 2		
	Pumpad volym (l)	Antal (x10 ⁶)	Konc. (n/l)	Pumpad volym (l)	Antal (x10 ⁶)	Konc. (n/l)
28 april	13000	0,7	54			
19 maj	1200	1,8	1479			
24 juni	1200	2,2	1810			
7 juni	1200	0,7	595			
8 juni	1200	2,0	1715			
13 juni	1200	5,3	4413	5900	6,8	1144
14 juni	1200	4,3	3641	4200	3,6	840
15 juni				4200	5,8	1363
21 juni				4200	1,5	351
14 juli	1200	0,4	348			
15 juli	1200	1,9	1552	4200	2,5	584
Medel		2,1	1944 ¹		4,0	856

¹ exklusive 28 april

fisklarver. Det anrikade vattnet hade då pumpats direkt till större nätkassar (1m³), och de döda organismerna kunde för ögat observeras på botten av kassarna. Dödligheten kan sannolikt förklaras av pumpens höga varvtal (1 450 rpm) och av kläna dimensioner i transportledningarna.

Tabell 3. Insamlade mängder per natt våren 1990, totalt och för dominerande grupper med en eller två 300 W undervattensstrålkastare respektive 200 eller 800 µm filterkasse runt insamlingsenheten.

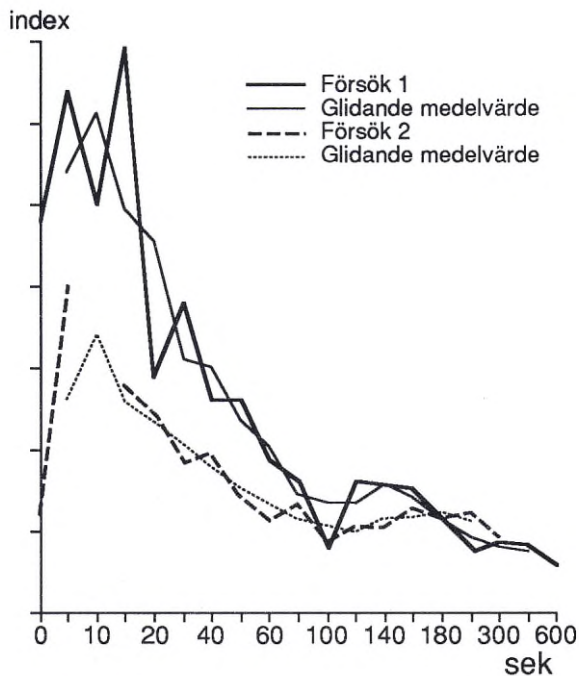
Antal lampor	Maskstorlek	Torrsvikt (g)	Rotatoria (n × 10 ⁶)	Copepoda (ad.+cop.) (n × 10 ⁶)	Copepoda (naup.) (n × 10 ⁶)	Balanidae (naup.) (n × 10 ⁶)
1	200	4,6	0,22	2,26	1,18	0,17
2	200	4,9	0,05	1,45	0,15	0,11
Medelvärde		4,7	0,14	1,85	0,66	0,14
1	800	28,1	0,06	5,88	0,67	0,23
2	800	40,8	0,05	4,24	0,40	0,35
Medelvärde		34,5	0,05	5,02	0,54	0,29

Under maj 1990 jämfördes insamlingseffektiviteten för system 2 med en alternativt två 300 W lampor i anslutning till pumpen. Vidare testades betydelsen av olika maskstorlekar i nätkassen runt insamlingsenheten (tabell 3). Med 200 µm filter runt lampan (fraktionen 100—200 µm) erhöles inga skillnader mellan insamlade mängder vid olika ljusregim, men torrsviktarna (4,7 g) var i genomsnitt betydligt lägre än vid försöken med den större maskstorleken. Två lampor gav i medeltal ca 45% högre torrsviktvärden för storleksfraktionen 100—800 µm, men skillnaden var inte statistiskt signifikant. Antalet insamlade organismer av olika grupper gav inga entydiga resultat. Medelvärdet av torrsvikten för fraktionen 100—800 µm i samtliga tio försök var 34,5 g/natt. Torrsviktens andel av våtsvikten var i genomsnitt 6,1% i åtta stickprov tagna sommaren 1992. På basis av detta värde kan torrsvikten för fraktionen 100—800 µm omräknas till en våtsvikt av 565 g/natt. Adulta copepoder och copepoditer dominerade med i medeltal 5,0 miljoner individ per natt. Den stora skillnaden i torrsvikt mellan 200 och 800 µm förklaras således av en mycket högre andel för denna grupp med den större maskstorleken.

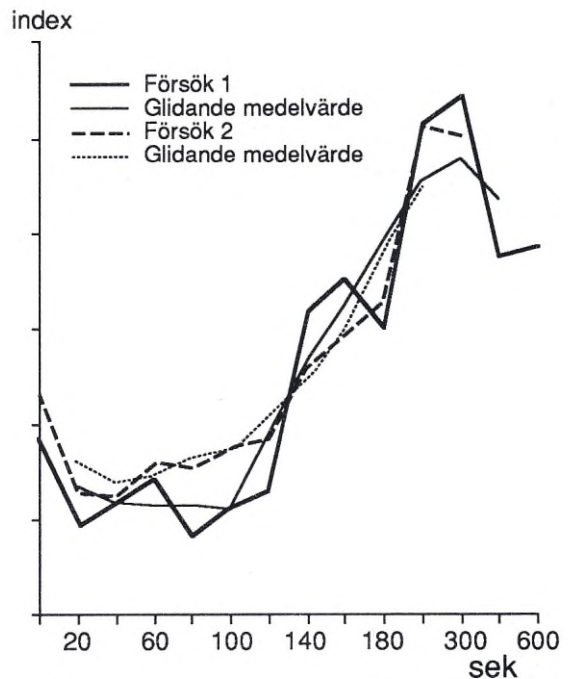
En jämförelse insamlingseffektivitet med fyra olika armaturer sammanfattas i tabell 4. Referenslampan gav i samtliga serier ett högre medelvärde än de prövade lamporna. Skillnaden var dock signifikant endast i försöket med den specialtillverkade lampan (typ 1). Typ 2 med 300 W glödlampa låg mycket nära referensen.

Tabell 4. Insamlade planktonmängder under en natt med olika typer av armatur samt medelvärde av kvoten mellan insamlade mängder med referens och med provad armatur vid enskilda försök.

Armatur	Effekt (W)	Antal försök	Referens våtsvikt (g)	Testlampa våtsvikt (g)	Kvot	Signifikansnivå
Typ 1	300	9	73	53	1,35	0,05
Typ 2	200	6	102	86	1,81	ns
Typ 2	300	6	138	136	1,09	ns
Typ 3	300	3	33	27	1,24	ns



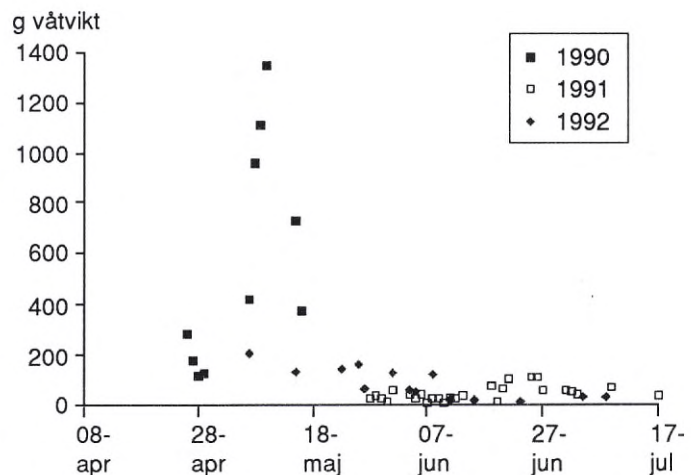
Figur 4. Täthet för copepoditer och adulta copepoder i vatten som pumpas från en insamlingsenhet vid olika tider efter pumpningens start.



Figur 5. Täthet för copepoditer och adulta copepoder i vatten som pumpas från en insamlingsenhet efter ökande intervall mellan pumpningar.

Figur 4 illustrerar hur tätheten för copepoditer och adulta copepoder i det pumpade vattnet avtar med tiden efter det att pumpningen inletts. Tätheten avklingar vid båda försöken snabbt under ca 80 sekunder varefter en förhållandevis stabil nivå bibehålles till dess försöken avslutas efter 300 respektive 600 sekunder. En maximal täthet synes ha uppnåtts efter en 4–5 min paus efter det att tidigare anlockade planktonorganismer har pumpats bort (figur 5).

Insamlade planktonmängder vid odlingsförsöken 1991 och 1992 återges i figur 6 tillsammans med motsvarande resultat från planktonförsöken 1990. Under 1991 och 1992 insamlades i genomsnitt 45 respektive 85 g våtvikt per natt, vilket var betydligt lägre än värdena för 1990 (565 g). Våtvikter för 1990 har beräknats. Torrvikten utgjorde vid beräkningar på material insamlat 1992 i genomsnitt 6% av våtvikten för motsvarande prov. Insamlingen 1990 gjordes på annan plats, med annan utrustning samt något tidigare än övriga år, varför resultaten inte är fullt jämförbara.



Figur 6. Insamlade planktonkvantiteter, uttryckt som våtvikt, vid försök i recipienten för Oskarshamnsverket 1990–1992

Orsaker till den observerade skillnaden mellan 1991 och 1992 har sökts i abiotiska faktorer som vattentemperatur och vindens riktning och styrka. Inga signifikanta samband har konstaterats, men en tendens till effektivare insamling vid vindar mellan syd och väst föreligger. Jämförelser har gjorts mellan insamlade mängder och rådande bakgrundstätheter av zooplankton utan att några entydiga samband har kunnat påvisas. Som exempel kan nämnas att bakgrundstätheten var lika hög under insamlingsförsöken i maj 1990 som under odlingsperioden 1991. Trots detta insamlades betydligt mindre kvantiteter det senare året. Ett signifikant samband (linjär regression, $p < 0,001$) förelåg mellan insamlade mängder och nattens längd 1992, men för 1991 var motsvarande samband svagt negativt.

Det förefaller sannolikt att en del av skillnaden mellan 1990 och övriga år står att finna i insamlingsmetodikens utformning. Resultaten från testerna av de olika lamporna samt från försöken med olika pumpnings- och återsamlingstider fanns ej att tillgå då odlingsanläggningen utformades. Dessa resultat indikerar att de lampor som använts vid odlingen 1991 och 1992 har varit något sämre än de som användes vid försöken 1990. Pumpningsförsöken tyder på att endast ca 40% av de anlockade organismerna suggs upp vid en pumptid av 20 sekunder jämfört med om pumptiden förlängts till 80 sekunder. Intervallen mellan pumpningarna bör också kunna göras kortare, eftersom maximal täthet uppnås redan efter 4–5 min (se fig 4–5). Resultaten från 1990 måste anses vara goda, men kan naturligtvis tolkas som en effekt av tillfälligt mycket gynnsamma förutsättningar. Trimningar av det system som använts 1991 och 1992 bör på basis av resultaten från lamptester och pumpningsförsök kunna leda till en väsentlig höjning av anlockningseffektiviteten. En förbättring med 50–100% bör kunna uppnås. Erfarenheterna av den tekniska driften har varit mycket positiva. Arbetsinsatsen under drift har inskränkt sig till kontroll av strömställare och regelbunden rengöring av nätkassarna runt insamlingsenheterna.

Avfiltrering av strömmande vatten med roterande håvar

Håvarna i inloppet till Biotestsjön i Forsmark arbetade kontinuerligt under sex veckor från mitten av maj till slutet av juni 1992. Ett kortare uppehåll för byte av nätcylindrar gjordes dock under perioden. Funktionen var lovande, men vissa tekniska brister konstaterades under arbetets gång. Teflonlagren är utsatta för stor påfrestning och har visat sig svälla vid höga temperaturer, vilket medfört en långsammare rotation och därmed större påfrestning på rotorbladen. Slangarna som leder det anrikade vattnet till uppsamlingskassen har varit för vecka och igensättning av pumpar med alger har tillfälligt orsakat problem.

De två insamlingsenheterna avsilade tillsammans i genomsnitt 280 g zooplankton per dygn under perioden 14 maj–26 juni 1992. Larver av havstulpaner (*Balanidae*) dominerade med nära hälften av den totala biomassan (tabell 5). Hinnkräftorna, representerade av släktena *Bosmina*, *Podon* och *Evadne*, utgör en betydligt större andel i Forsmarksförsöken än i plankton som insamlats med ljusanlockning vid Oskarshamnsverket. Gruppen *Copepoda*, hoppkräftor, utgjorde knappt 20% av biomassan. Vid

Tabell 5. Insamlade planktonmängder med roterande håvar i Forsmark sommaren 1992. Medelvärden för nio provtagningar 14 maj—26 juni. Specifika vikter har skattats utgående från volymsuppgifter från Hernroth (1975). Densiteten har givits värdet 1 g/cm³.

Antal lampor	Rotatoria	Bosmina	Copepoda (ad + cop)	Copepoda (nauplier)	Balanidae (nauplier)	Bivalvia (larver)	Podon	Evadne
Spec. vikt (mg)	1	10	12 ¹	1,2	10	1	10	10
Antal × 10 ⁶ /dygn	1,7	4,8	4,5	1,0	14,5	3,3	1,8	0,8
g/dygn	1,7	48	55	1,2	145	3,3	18	8

¹ Vikten avser copepoditer

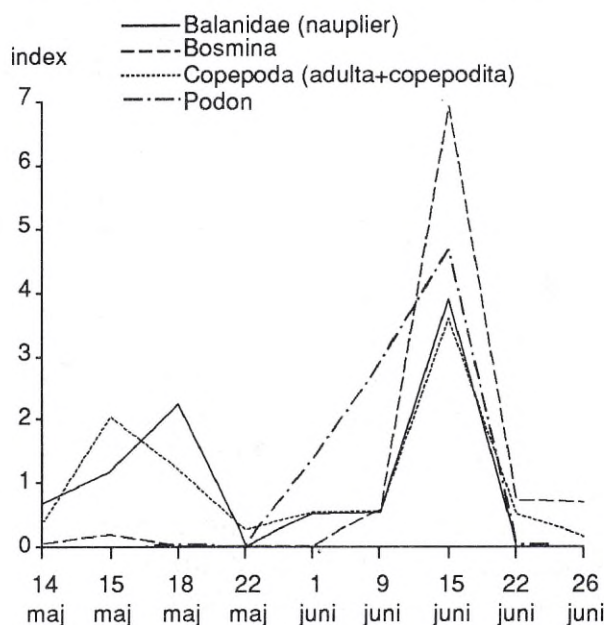
analysen av proverna noterades en förhållandevis hög andel skadade och sönderslagna djur. Detta antyder att den pump som använts för att lyfta vattnet från uppsamlingskassen kan ha haft ett för högt varvtal eller att den på annat sätt har varit olämplig för ändamålet. Andelen copepodnauplier var låg, vilket inte motsvarar förhållandet i de referensprover som tagits i området. Den låga andelen kan sannolikt förklaras av förluster i insamlingssystemet, t e x genom nätfönstret i uppsamlingskassen eller genom selektiv utslagning i pumpar.

Utgående från planktontätheter i utloppskanalen för block 3 i Forsmark sommaren 1990 har ett teoretiskt värde beräknats för hur mycket plankton som borde kunna samlas in med en håv under ett dygn. Strömhastigheten genom håvens mynning har härvid förutsatts vara 50 cm/s. Samma specifika vikter har använts som i beräkningarna av hur mycket som samlats in under försöken 1992. Med givna beräkningsgrunder bör ca 3,5 kg zooplankton kunna samlas in med en håv under 24 timmar, vilket betydligt överstiger vad som samlades in under samma tidsrymd med två håvar sommaren 1992. Denna observation antyder att insamlingssystemet inte har utnyttjats till sin fulla kapacitet och att man med en förfining och utveckling av tekniken bör kunna uppnå ett betydligt bättre resultat.

Figur 7 illustrerar variationen mellan olika provtagningstillfällena för de fyra viktsmässigt dominerande grupperna. Variationen är stor för samtliga grupper; minst för copepoderna med mellan 0,5 och 3,5 andelar av medelvärdet.

SLUTSATSER

Anlockning med undervattensljus i kombination med pumpning har i enstaka försök givit mycket lovande resultat för anrikning av zooplankton. Effektiviteten har dock varit betydligt lägre och uppvisat stora variationer vid odlingsförsök i större skala och under längre tid. Belysningens utformning och styrningen av pumparnas gångtid kan sannolikt till en



Figur 7. Insamlade planktonmängder vid enskilda provtagningstillfällena med roterande håvar i Forsmark 1992. Andelar av medelvärdet för samtliga provtagningar.

del förklara det sämre resultatet i samband med odlingsförsöken. Tendenser till ett beroende av vindriktning, och därmed sannolikt av ytvattnets rörelseriktning, kan tolkas som att vattnets rörelseriktning i förhållande till lampans lysriktning är en faktor som påverkar effektiviteten av anrikningen. Ett sätt att motverka en sådan effekt är att ersätta de ensidigt lysande lamporna med belysning som lyser i alla riktningar. Pumparnas gångtid kan enkelt justeras så att pumptiden bättre sammanfaller med tiderna för optimal uppsugnings- och återsamlingstid för planktonorganismerna. Nämnade åtgärder bör kunna leda till en höjning av insamlingens effektivitet.

Ett positivt samband har konstaterats mellan insamlade kvantiteter och nattens längd. Lägre effektivitet under perioder med korta nätter utgör naturligtvis ett problem vid odling av vårlekande fiskars yngel, vilken ju måste förläggas till försommaren. Insamlingssystemet erbjuder dock möjligheten att samla in plankton utan begränsning till årstid. Lagring i fryst tillstånd kan vara en framkomlig väg, förutsett att de yngel man har för avsikt att odla kan förmås att äta döda organismer. Täthetsmaxima för flera av Östersjöns zooplanktonarter infaller under sensommaren (Eriksson 1973, Eriksson et al. 1977, Hernroth & Ackefors 1977, Sellei et al. 1979), vilket naturligtvis innebär en nackdel för odling av vårlekande arter, men sannolikt också en fördel ur insamlingssynpunkt, eftersom nätterna då är betydligt längre än under försommaren.

De tekniska erfarenheterna av insamlingssystemet är mycket goda. Automaten medför att arbetet under en odlingsperiod, förutom utsättning av larver, sortering och skörd, inskränker sig till daglig tillsyn av funktionen hos belysning och pumpar samt till rengöring av nätkassar med ca en veckas intervall. Driftstörningarna under odlingsförsöken 1991 och 1992 har varit få.

Anrikning av plankton med roterande håvar i kylvattenströmmen har fungerat väl med tanke på den korta utvecklingstiden, två år. Smärre tekniska brister har konstaterats, men dessa bör kunna åtgärdas utan alltför stora kostnader. En ny lösning av lagringen i det främre fästet bör sökas, med målet att minska rotationsmotståndet. Ledningen mellan håvar och uppsamlingskasse bör förbättras och uppsamlingskassen bör förses med ett nätfönster med mindre maskstorlek. Den pump som lyfter vattnet från uppsamlingskassen till den roterande silen bör ersättas med en pump som är mera skonsam mot insamlade organismer. Åtgärderna bör leda till dels en generell förbättring av effektiviteten, dels till att de för larverna viktiga, små organismerna, fångas effektivare.

Kvantifiering i samband med odlingsförsöken 1992 visar att betydligt mindre mängder har samlats in än vad som beräknats vara möjligt mot bakgrund av observerade planktontätheter i kylvattenströmmen. En förfining av tekniken bör kunna leda till att potentialen utnyttjas på ett effektivare sätt. Planktontätheten i kylvattenströmmen är naturligtvis begränsande för hur stora mängder som kan samlas in, men stora möjligheter finns att öka håvarnas antal och storlek. En enda 60 cm håv har visat sig räcka till uppfödning av 7 000 abborryngel till 30 mm med nästan

maximal tillväxthastighet. Detta måste betraktas som mycket lovande, med tanke på att endast en bråkdel av den tillgängliga födoresursen har utnyttjats. Insamling på intagssidan har en högre potential, och stora geografiskt betingade skillnader föreligger mellan olika kraftverkslägen. Erfarenheter från kraftverk i Danmark och på den svenska västkusten visar att betydligt större kvantiteter bör kunna samlas i dessa områden.

Sammanfattningsvis kan sägas att båda metoderna tekniskt har fungerat på ett tillfredsställande sätt — det återstår dock att visa om de med föreslagna förbättringar kan ge ett ekonomiskt försvarbart resultat.

LITTERATUR

- Andersson, J., & Sandell, G., 1993. Odling av fiskyngel i kylvattenrecipenter. Kustrapport 1993:2.
- Eriksson, S., 1973. Preliminary zooplankton investigations in the Öregrund archipelago (southwestern Bothnian Sea) during the summer 1970. *Zoon* **1**, 95—111.
- Eriksson, S., Sellei, C. & Wallström, K., 1977. The structure of the plankton community of the Öregrundsgrepen (southwest Bothnian Sea). *Helgoländer wiss. Meeresunters.* **30**, 582—597.
- Hernroth, L., 1975. Zooplankton biomass estimation — a short description and comparison of two methods. *Medd. Havsfiskelab. Lysekil* 194. 9s
- Hernroth, L. & Ackefors H., 1977. The zooplankton of the Baltic Proper. A long term investigation of the fauna, its biology and ecology. Institute of Marine Research, Lysekil.
- Jäger, T. & Nellen, W., 1980. Die Erprobung einer Polnischer Methode zum Vorstrecken von Maränen in Schleswig-Holstein. — *Arbeiten des Deutsches Fischerverbandes*, Heft **30**:14—31.
- Karås, P., 1992. Zooplankton entrainment at Swedish nuclear power plants. *Mar. Poll. Bull.* Vol. **24**, No 1. pp 27—32.
- Kostiainen, R. & Jalava, T., 1980. Uppfödning av sik i nätkassar med hjälp av undervattenslampor. *Fiskeritidskrift för Finland* 1980/**1**:10—14.
- Nielsen, L., 1990. Forsøgsopdræt af marine fiskelarver. Asnæsverket 1990. Rapport til El-Kraft, Danmark & Statens Naturvårdsverk, Sverige. Danmarks Fiskeri og Havundersøgelser (mimeo).
- Sellei, C., Andersson, J. & Karås, P., 1979. Zooplanktonstudier vid ett kylvattenutsläpp. Statens Naturvårdsverk, SNV PM **1167**.
- Steffens, W., 1976. Hechtzucht. — *Z. Binnenfischerei DDR* **25**:327—331.
- Uryn, B., 1979. Farming of juvenile whitefish *Coregonus lavaretus* in submerged illuminated cages. In: E. Jaspers, G. Persoone, E. Styczynska-Jurewicz and T. Backiel (Eds.), *Cultivation of fish fry and its live food*. European Mariculture Soc., Spec. Publ. **4**:289—297.

Kustlaboratoriet

Box 584

740 71 Öregrund

Tel.: 0173/31305

Fax: 0173/309 49

Laboratoriechef: Erik Neuman

Miljöproblem: Olof Sandström

Rekrytering: Peter Karås

Fisktillgångar, modeller: Gunnar Thoresson

Laboratorium (0173/ 303 06): Rose-Marie Svensson

Bottenfauna ostkusten (0173/307 29): Kerstin Mo

Kungsbacka

Tel.: 0300/73 720, 73 721

Fax: 0300/192 44

Beståndsövervakning, miljökontroll: Alvar Jacobsson

Bottenfauna västkusten, skaldjur: Susan Smith

Ringhals

Tel.: 0340/609 87

Kontroll Ringhalsverket och Värö Bruk: Kurt Torildsson

Barsebäck

Tel.: 046/77 54 88

Kontroll Barsebäckverket: Göran Lundh

Simpevarp

Tel.: 0491/342 47

Rekrytering, kontroll Oskarshamnsverket: Jan Andersson

