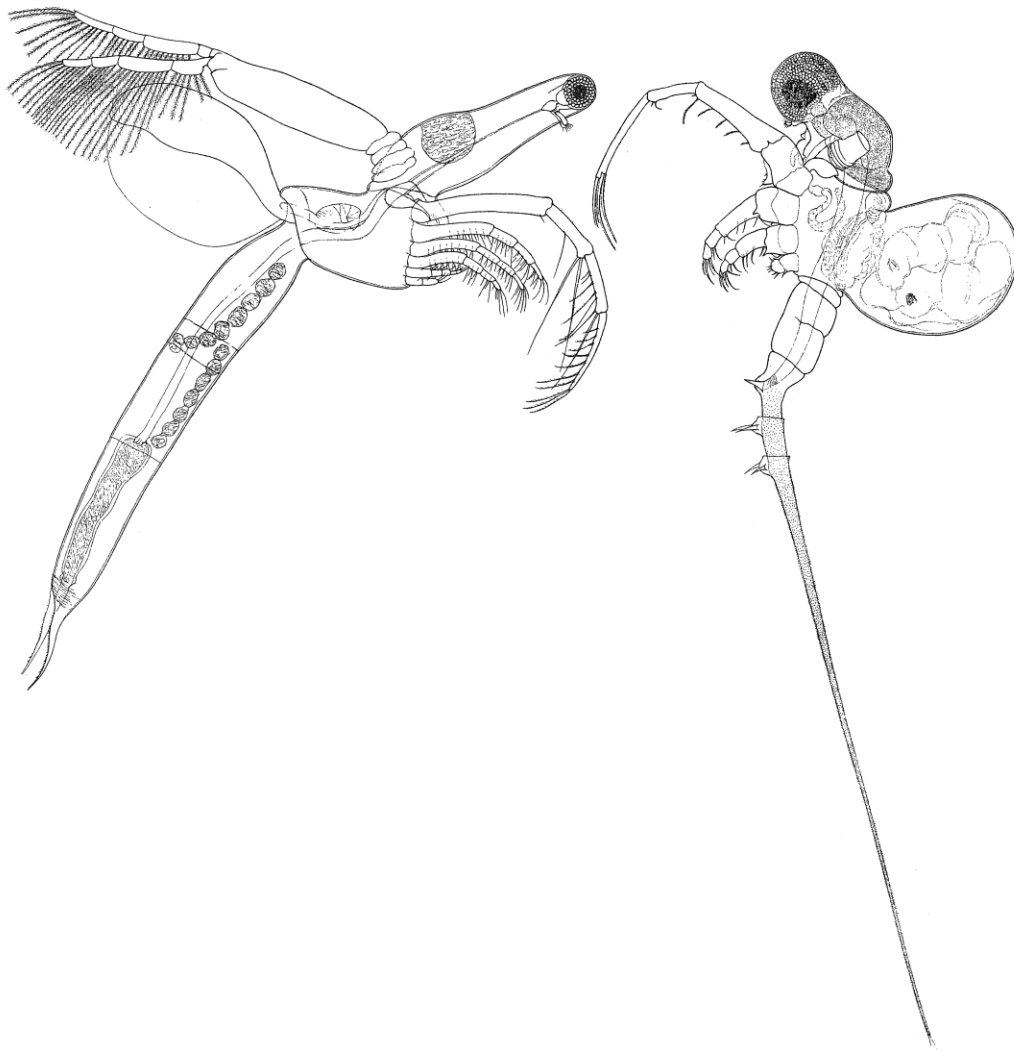


Kvantifiering av stora djurplankton i de stora sjöarna

Henrik Ragnarsson Stabo, Thomas Axenrot, och Alfred Sandström, Sötvattenslaboratoriet,
Institutionen för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU)

Tobias Vrede, Institutionen för vatten och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU)

Mars 2012



Innehållsförteckning

Innehållsförteckning

Sammanfattning	4
Bakgrund	5
Syfte	5
Stora djurplankton i de stora sjöarna	5
Nuvarande provtagningsmetodik	6
Hydroakustisk kvantifiering av djurplankton	7
Metoder	7
Hydroakustik	7
Vertikalhävning	8
Tuckertrålning	9
Planktonräkning	9
Resultat	10
Häv	10
Hydroakustik och Tuckertrål	12
Diskussion	15
Tack:	15
Referenser	16
Bilaga: Tabeller	18

Sammanfattning

Stora djurplankton (>2 mm) fyller en viktig funktion i många sjöecosystem. De flesta är rovdjur, vilket leder till att de är både konkurrenter och föda till många planktonätande fiskar. Dessa storväxta planktonarter kan också utgöra viktig föda för unga rovfiskar, t.ex. gös (*Sander lucioperca*). I denna studie testades olika metoder för att kartlägga och kvantifiera förekomsten av stora djurplankton i Vänern, Vättern och Mälaren.

Det har visat sig att den traditionella provtagningen ofta missar de stora djurplanktonarterna. Här testade vi en stor och grovmaskig planktonhäv för att få ett mått på biomassorna av plankton per ytenhet. Tuckertrål kombinerat med hydroakustik användes för att få ett mått på arternas vertikalfördelning och rumsliga fördelning. Flera frekvenser användes för att skilja på den detekterade energin från fisk och djurplankton som vid ekolodning reflekteras från organismerna. Totalt samlades 58 häv- och trålprover in.

Planktonsamhället varierade starkt både mellan och inom sjöar. Vänern och Mälaren dominerades av *Leptodora*, medan Vättern dominerades av *Limnocalanus*. Djupet var avgörande för vilka arter som förekom i proverna, speciellt tydligt var det hos *Limnocalanus* som främst förekom i det kalla vattnet under språngskiktet.

Hydroakustisk visade sig vara en möjlig metod för att mäta mängden stora djurplankton i de stora sjöarna. Mysider har tidigare visats ge starka och urskiljningsbara signaler i Vättern. Vår undersökning visade att även tofsmygglarver (*Chaoborus*) gav mycket starka signaler, som riskerar att överskugga de svagare signalerna från djurplankton. Vi föreslår därför att eventuell framtida hydroakustisk övervakning ska ske i dagsljus då både mysider och tofsmygglarver håller sig nära eller på botten.

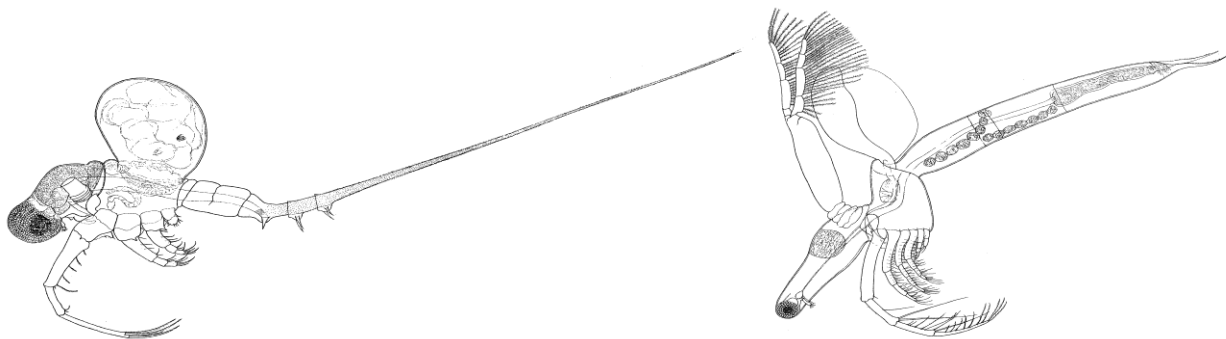
Våra resultat visar att biomassan stora djurplankton per ytenhet är i samma storleksordning som mängden fisk. Det indikerar att de är viktiga i födoväven och bör övervakas. Hydroakustik kombinerad med hävning eller Tucker-trålning skulle utgöra ett värdefullt komplement till den vanliga djurplanktonprovtagningen.

Bakgrund

Syfte

Syftet med denna studie var att testa och jämföra olika metoder för att kvantifiera mängden stora djurplankton i de tre största svenska sjöarna Vänern, Vättern och Mälaren.

Tillförlitliga abundans- och biomassedata är värdefulla för att förbättra förståelsen för dynamiken i pelagiska system och ge en förbättrad uppfattning om tillgången på viktiga födodjur för fisk. Detta öppnar i sin tur möjligheter för att undersöka i vilken mån förändringar i tätheter av stora djurplankton bidrar till att förklara förändringar i bestånd av t.ex. siklöja och nors samt förklara dynamiken i den övriga pelagiska födoväven. God kännedom om födoväven är en förutsättning för att förutsäga effekter av fiskeriförvaltning och framtida klimatförändring. Det öppnar även upp möjligheten att övervaka glacialrelikten *Limnocalanus*. Övriga glacialrelikter som fångades rapporteras av Kinsten (2012) som gjorde en mer omfattande kartläggning fokuserad på dessa.



Figur 1. *Bythotrephes longimanus* från Lilljeborg (1982[1900])

Fig 2: *Leptodora kindtii* från Lilljeborg (1982[1900])

Stora djurplankton i de stora sjöarna

Stora djurplankton (>2 mm) fyller en viktig funktion där de förekommer. De stora arter som är vanligt förekommande i de stora sjöarna Vänern, Vättern och Mälaren är hinnkraftorna *Bythotrephes longimanus* (fig. 1) och *Leptodora kindtii* (fig. 2) som är utpräglade rovdjur (se Hessen, Bakkestuen et al. 2011), och hoppkraftorna *Limnocalanus macrurus* och *Heterocope spp.*, där den förstnämnda är omnivor (Warren 1985).

I de stora sjöarna förekommer stora djurplankton ofta i födan hos de dominerande planktonätande fiskarna nors och siklöja (Vallin 1969; Northcote and Rundberg 1971; Nilsson 1979). De är också viktiga som föda för ung rovfisk (Ginter, Kangur et al. 2011), som gös (*Sander lucioperca*). Tillgång till stora plankton förbättrar tillväxten, och snabbar därmed på övergången från planktondiet till fiskdiet. Att de kan ha en stor inverkan på pelagiska ekosystem visas t.ex. av *Bythotrephes longimanus* som har orsakat kraftiga förändringar i födoväven i de nordamerikanska stora sjöarna sedan den spridits dit via ballastvatten (Barbiero and Tuchman 2004). I Nordamerika har *Bythotrephes* ofta konkurrerat ut *Leptodora*, men i Skandinavien tycks de samexistera (Hessen, Bakkestuen et al. 2011). En sammanställning av effekterna av *Bythotrephes*-invasionen i Nordamerika presenteras i ett specialnummer av "Biological invasions" (Yan, Leung et al. 2011).



Figur 3. Henrik Ragnarsson Stabo provtar stora djurplankton genom vertikalhävning från U/F Asterix

Det är troligt att mängden stora djurplankton påverkas av förvaltningen av de stora sjöarna, då mängden rovfisk regleras genom fiskets uttag samt av utsättningar av laxfisk i Vänern och Vättern. Mängden rovfisk reglerar i sin tur mängden planktonätande fiskar, som i sin tur kan förväntas påverka förekomsten av stora rovlevande plankton. Men hur denna kaskad fortsätter är i dagsläget okänt, då de stora djurplanktonarterna inte övervakas effektivt.

Nuvarande provtagningsmetodik

I dagsläget finns ingen effektiv kvantitativ övervakning av de stora planktonarterna i Sveriges stora sjöar. De fångas vid den nuvarande djurplanktonprovtagningen, men inte i sådan omfattning att det går att analysera trender i förekomst och täthet. Provtagning har huvudsakligen skett med Clarke-Bumpushåv (120 μm maskvidd, provvolym ca 200-1000 l, men den analyserade volymen har varit betydligt mindre) i Vänern och med Rodhehämtare (40 μm säll, provvolym ca 2-30 l) i Mälaren. I Vättern har provtagningsmetodiken varierat mera. Dessa provvolymmer är optimala för att säkert kvantifiera mindre planktonkräftdjur, men ger alltså inte tillräckligt stora delprov för att ge en säker

uppskattning av tätheten av större zooplankton. Dessutom är det väl känt att de stora djurplanktonarterna har förmåga att undvika vattenhämtare, vilket gör att den metodik som normalt används för djurplanktonprovtagning är negativt selektiv för stora djurplankton.

Hydroakustisk kvantifiering av djurplankton

Hydroakustik har använts med framgång för att kvantifiera andra organismer än fisk, t.ex. för krill, mysider (Axenrot, Ogonowski et al. 2009) och insektslarver (*Chaoborus*) (Knudsen och Larsson 2009). På senare tid har utveckling av teknik och analysmetoder öppnat nya möjligheter att kvantitativt bestämma mängden evertebrater och därmed även djurplankton. För att kunna göra sådana skattningar krävs att man kan skilja på den detekterade energin från fisk och djurplankton som vid ekolodning reflekteras från organismerna. Detta är idag möjligt genom att använda flera frekvenser som registrerar samma volym vatten vid en och samma tidpunkt och parallellt analysera dessa data och maskera bort den betydligt kraftigare reflektionen från fisk. Reflektionen av olika frekvenser (s.k. frequency response) skiljer sig åt hos olika organismer.

Fiskeriverkets Sötvattenslaboratorium har sedan 1988 bedrivit hydroakustisk övervakning av de pelagiska fisksamhällena i Mälaren, Vättern och Vänern. Från 2011 har denna verksamhet gått över till SLU Aqua. Under dessa årliga expeditioner som är en del av den nationella miljöövervakningen i sötvatten, täcks varje sjö med ett antal tvärgående transekter där pelagisk fisk registreras med ekolod. För att verifiera hydroakustiska data och för att få en uppfattning om artsammansättning bland fiskar av samma storleksklass utförs korta provtrålningar med en silltrål. Expeditionerna genomförs normalt under augusti och september. Vid denna tid på året är djurplanktonsamhället fullt utvecklat och provtagningar med gängse djurplanktonmetodik genomförs samma årstid vilket underlättar metodjämförelser.

Metoder

I samband med ekoräkningar och trålningar med U/F Asterix i Vänern, Vättern och Mälaren provtogs sommaren 2011 stora djurplankton med två olika metoder i syfte att verifiera vilka arter som förekommer, på vilka djup och vid vilken täthet. Provtagningen gjordes dels som tråldrag med Tucker-trål på tre olika djupnivåer, dels som vertikal håvdragning från ytan till nära botten och upp till ytan igen med en stor planktonhåv.

Djurplankton migrerar ofta ner på djupt vatten på dagen för att undkomma predation, varför huvuddelen av proverna togs på natten samtidigt med fisktrålningen. Ett mindre antal prover togs i ljus för att undersöka eventuell migration.

Hydroakustik

Hydroakustiska data samlades in med ekolodning i ljus och mörker på Vänern och enbart i mörker på Vättern och Mälaren under augusti och september 2011. Studien genomfördes från Sötvattenslaboratoriets forskningsfartyg U/F Asterix med två fasta ekolod monterade på 1,5 m djup. Hydroakustiska data kunde därmed tas upp för två olika frekvenser – 38 och 120 kHz. Ekolodens transduktorer är av typen sfärisk *split-beam* med en vinkel för utgående ljudpuls nära 7°. Transduktorena är monterade för att så långt som möjligt samla in data i samma volym vatten vilket är avgörande om data för de två frekvenserna ska kunna bearbetas gemensamt (Korneliussen and

Ona 2002; Korneliussen 2004; Korneliussen, Diner et al. 2008). Ekoloden sände simultant ljudpulser med en hastighet av 3 ping per sekund. Pulslängden var satt till 512 μ s, och effekten till 1000 och 100 W för 38 respektive 120 kHz. Då data samlades in under trålning var fartygets hastighet 2 knop. Hydroakustiska data med de två frekvenserna samlades in under sammanlagt 1842 m i Vätern, 4300 m i Vättern och 1477 m i Mälaren. Ekoloden (Simrad EK60, med programvara ER60 version 2.2.1) kalibrerades i enlighet med rekommenderade metoder (Foote 1982; Foote, Knudsen et al. 1987; Simmonds and MacLennan 2005).

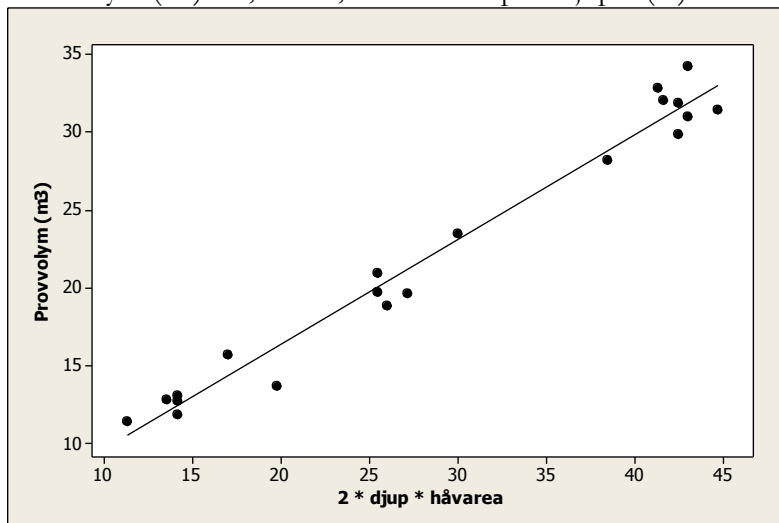
Vattnets temperatur mättes från ytan till botten vid varje provtagning i de undersökta områdena med sond (CTM208 probe; software SDA v. 1.83, SST GmbH).

Hydroakustiska data analyserades i Echoview 5.1 (SonarData). Inledningsvis fastställdes nivån för brus vilket filtrerades bort. Normalt ligger brusnivån långt under detektionsnivån, men djurplankton och mysider återger betydligt svagare eko än fisk. Därefter användes ekon från fisk i hydroakustiska data från 38 och 120 kHz för att konstruera ett filter som avlägsnade all reflekterad ekoenergi (S_v , dB; Simmonds & MacLennan 2007, MacLennan et al 2002) som genererats av fisk (figur 9-11). Eftersom skillnaden i ekostyrka mellan fisk och djurplankton respektive mysider är avsevärd filtrerades även en liten del runt varje identifierat fiskeko för att minska risken för fel. Baserat på resultat från tidigare studier (Axenrot et al. 2009) analyserades filtrerade data för 120 kHz med avseende på resterande reflekterad ekoenergi för de vattenvolymer som trålats.

Vertikalhåvning

Vertikal håvdragning utfördes från ytan till nära botten och åter till ytan med en planktonhåv (Aquatic Research Instruments, simple plankton net) med en öppningsdiameter på 60 cm, längd 180 cm och maskstorlek 500 μ m (figur 3). I öppningen på håven monterades en flödesmätare (OceanTest Equipment Flowmeter MF315), med vilken provvolymen mättes. Vissa håvningar gjordes utan flödesmätare (på grund av tekniska problem). För att beräkna den provtagna volymen i de fall flödesmätningar saknades använde vi en empirisk linjär modell baserad på djup- och flödesmätningar ($r^2=0,97$, $p<0,001$, $N=20$) (figur 4):

$$\text{Provvolym (m}^3\text{)} = 2,95 + 0,672 \times 2 \times \text{provdjupet (m)} \times \text{håvöppningens area (m}^2\text{)}$$



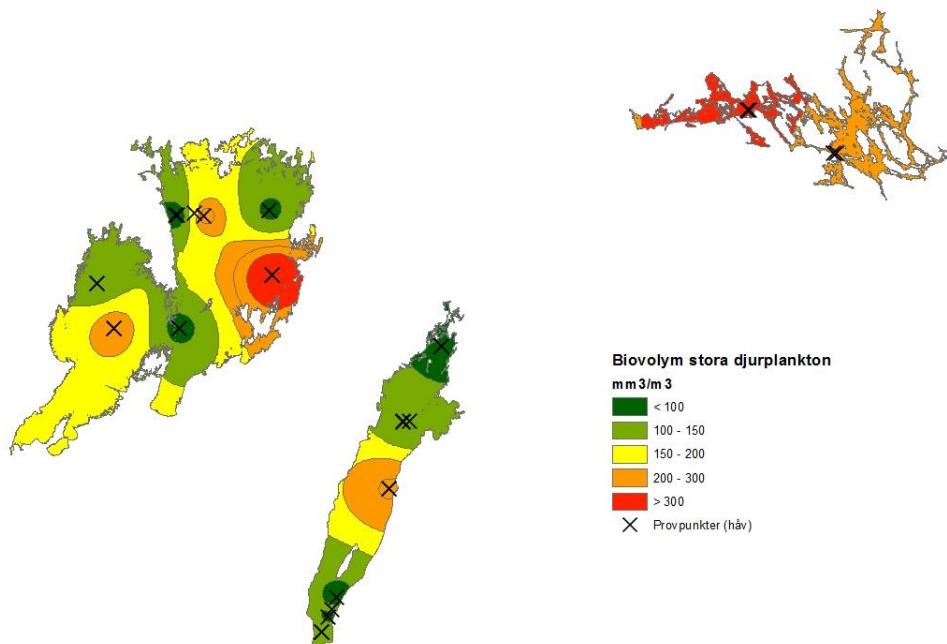
Figur 4. Regressionsmodell för justering av provvolym

Tuckertrålning

För att få ett mått på vertikal fördelningen av stora djurplankton och eventuella andra organismer användes en Tucker-trål. Denna fördelning användes sedan för jämförelsen med de hydroakustiska resultaten. Tucker-trålen (500 μm maskvidd; 0,25 m^2 öppningsarea) drogs på tre olika djupnivåer per lokal. Tråldjupet reglerades genom att variera längden på wiren, enligt en wire-längd/hastighet/djup-tabell framtagen av Martin Ogonowski, Stockholms universitet. Tabellen är baserad på formeln $\text{djup} = \sin(\text{wire-vinkel} \times \pi / 180) \times \text{wirelängd}$. För att verifiera djupet fästes en Sensus ultra sond (Reefnet inc.) vid trålen med hjälp av en karbinhake. Sonden aktiveras av tryckförändring och registrerar tid, djup och temperatur. Trålen har 3 olika fack som kan öppnas och stängas oberoende av varandra, vilket innebär att man kan ta prover från olika djup vid samma tråltillfälle. Trålen lånades från Institutionen för Systemekologi, Stockholms universitet.

Planktonräkning

Zooplanktonproven räknades i stereomikroskop efter subsampling i en Wiborg whirling vessel. Om möjligt räknades totalt minst 200 individer av *Bythotrephes*, *Leptodora*, *Limnocalanus* och *Heterocope* i varje prov (median 416 individer). Laboratoriet är ackrediterat av SWEDAC (styrelsen för teknisk ackreditering) enligt SS-EN ISO/IEC 17025. Ackrediteringen omfattar analys av djurplankton enligt Naturvårdsverkets undersökningstyp Djurplankton i sjöar (version 1.1 2003-05-27), vilken använts i tillämpliga delar med avseende på provbehandling, analyser och primär resultatbehandling.



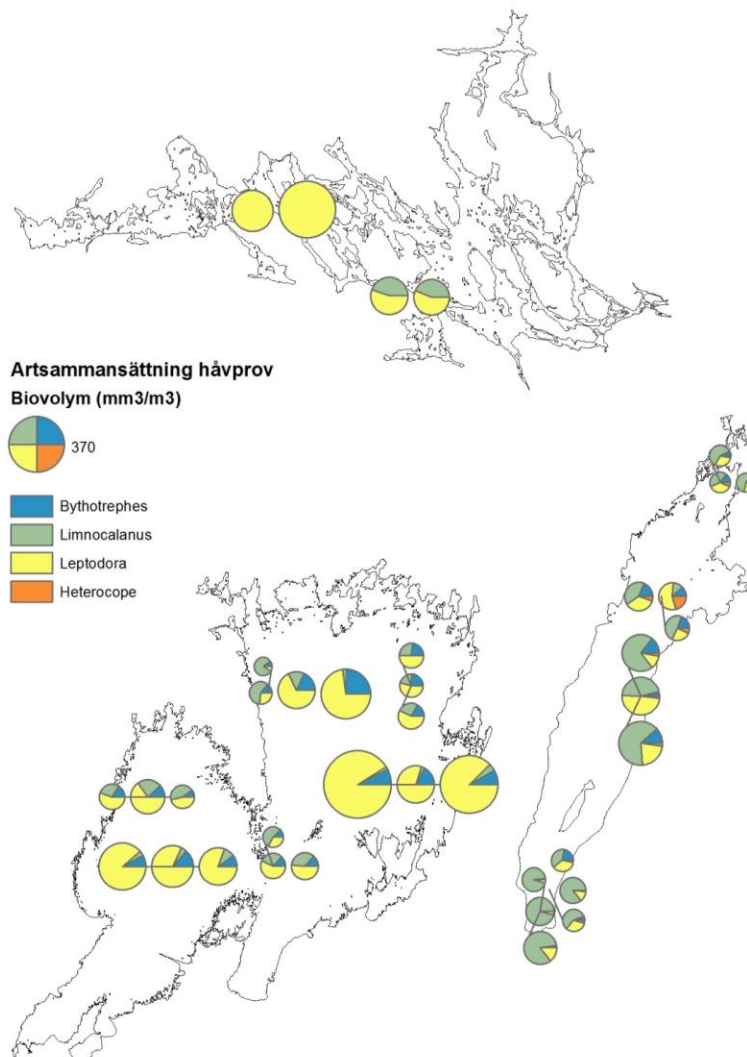
Figur 5. Total biovolym (mm^3/m^3) stora djurplankton i håvprov från Vänern, Vättern och Mälaren. Bilden är en interpolation (IDW) utgående från provtagningspunkterna. © Lantmäteriet, ärende nr I 2010/0345

Resultat

Håv

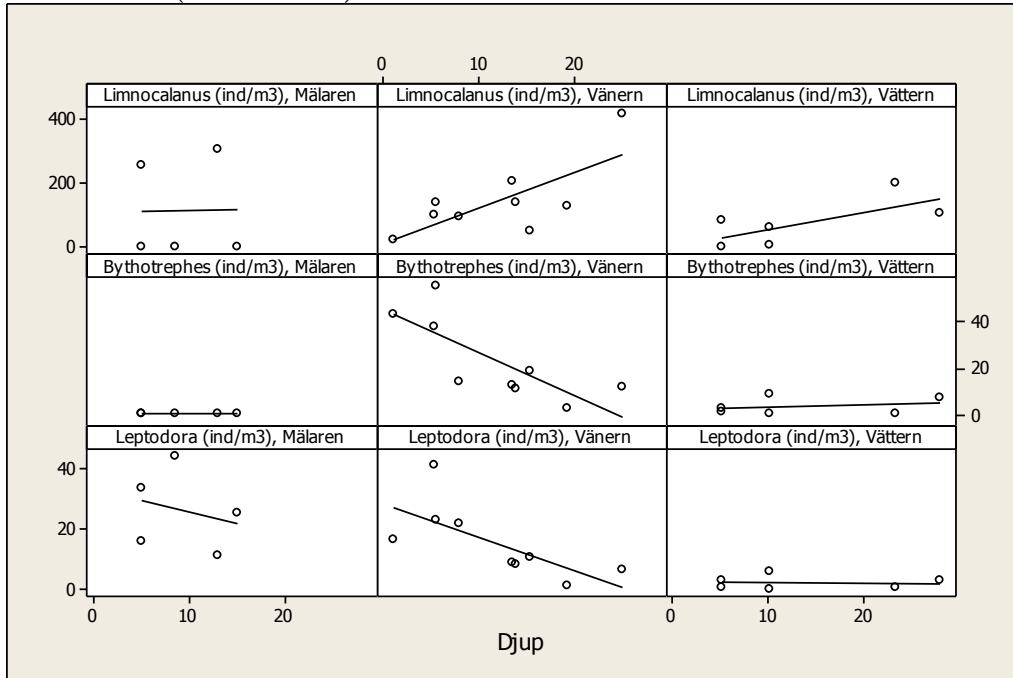
Håvdragningarna visade att det var stor skillnad i mängden stora djurplankton både mellan de olika sjöarna och mellan stationer i samma sjö (figur 5, tabell 1). Variationen var mindre mellan håvdrag i samma område (tabell 1).

Även artsammansättningen varierade mellan och inom sjöarna (figur 6). I djupa områden fanns det mer av glacial-relikten *Limnocalanus* som främst förekommer i kallt vatten under språngskiktet – i samma områden som *Mysis* (figur 7, tabell 3). Tofsmygglarver (*Chaoborus*) återfanns endast i den något näringsrikare Mälaren (tabell 3). Även en del ovanliga arter fångades (tabell 2), t.ex. fisklusen *Caligus lacustris*. Mängden stora djurplankton per ytenhet var stor (figur 8).

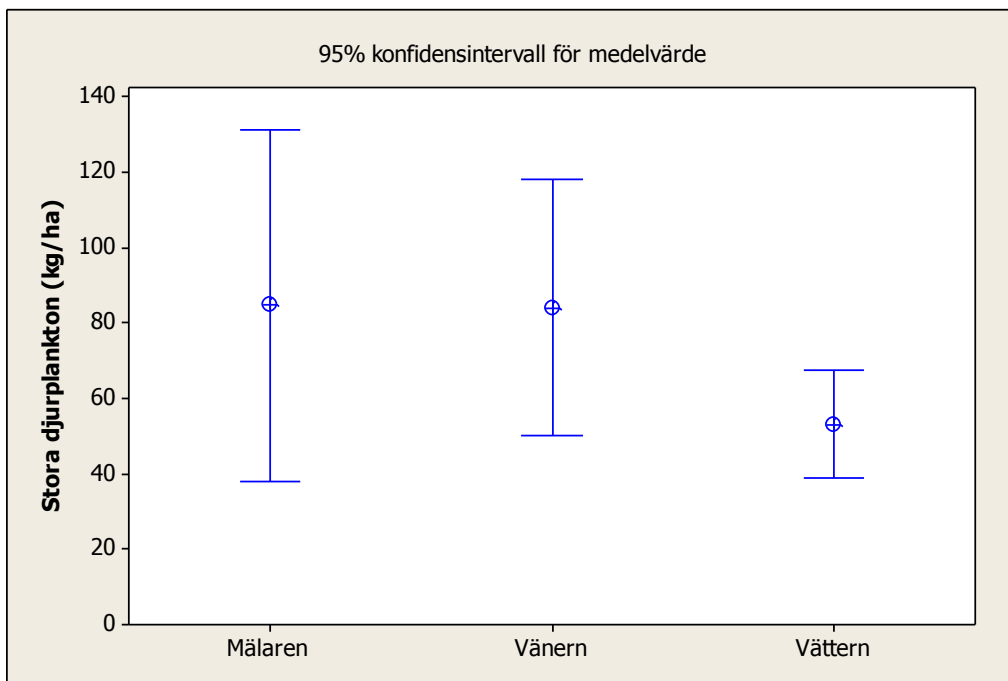


Figur 6. Artsammansättning i håvproverna i de olika sjöarna. Mälaren upptill, Vänern nere t.v., och Vättern nere t.h. Andelarna är baserade på biovolym.

Vid de flesta stationerna var fångsterna av stora djurplankton avsevärt större i denna studie än i det ordinarie provtagningsprogrammet (augusti-september 2011). Enligt ordinarie undersökningen ser det ut som om *Heterocope* helt försvunnit från Vänern (figur 16). Vår undersökning visar att de finns – men på en mycket låg nivå. Arten var åtminstone förr en viktig födoorganism för planktonätande fisk i Vänern (Nilsson 1979).



Figur 7. Djupfördelning av *Limnocalanus*, *Bythotrephes* och *Leptodora* i Vänern och Vättern och Mälaren.

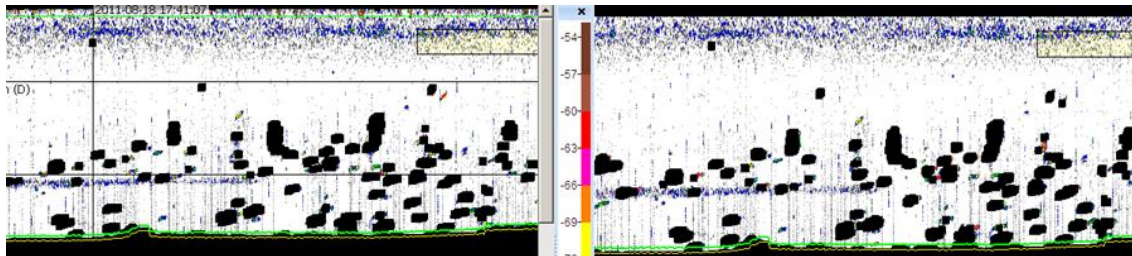


Figur 8. Mängden stora djurplankton per hektar i Mälaren, Vänern och Vättern. Värdena är från prover tagna genom vertikalhävning från U/F Asterix 2011.

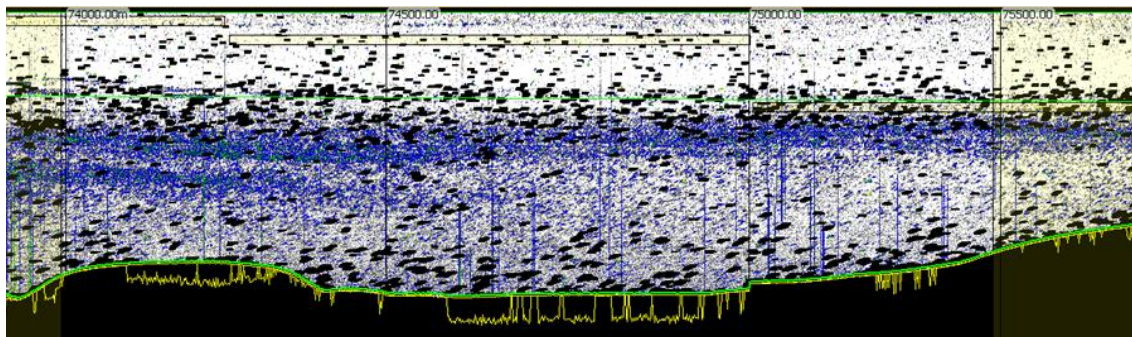
Hydroakustik och Tuckertrål

Det var ingen signifikant skillnad i mängden stora rovp plankton i Tuckertrålfångsterna i ljus och mörker (Vänern). Median mörker = $184\text{mm}^3/\text{m}^3$, ljus = 277 (Mann-Whitney $U = 27$, $n_{\text{mörker}} = 6$, $n_{\text{ljus}} = 3$, $P = 0,51$). Varken *Mysis* eller *Chaoborus* fångades i ljus.

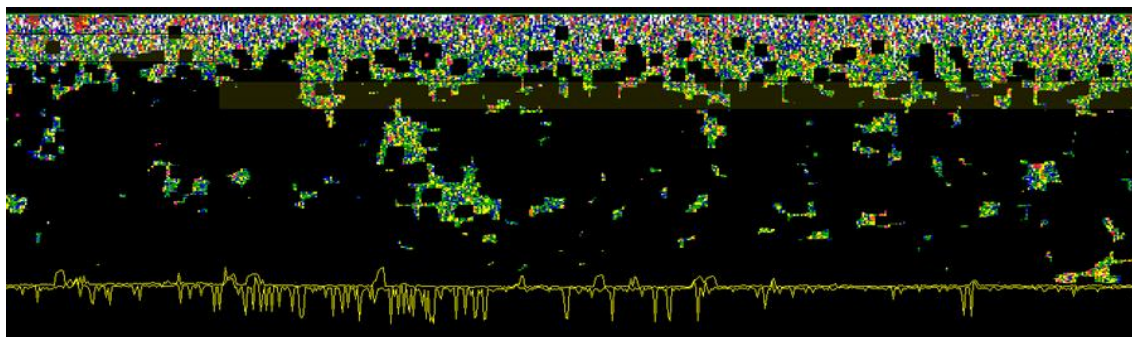
Stora djurplankton och andra evertebrater fångades i Tuckertråldragen (tabell 2 och 3). Förekomsten av dessa organismer relaterades till signalstyrka vid ekolodning. Den reflekterade ekoenergin (S_v) från ekolodning med 120kHz, där fiskekon identifierats med 38 kHz och filtrerats bort, påverkas av mängden djurplankton (figur 12). Den påverkas även starkt av mängden tofsmyggglarver, *Chaoborus* (figur 13). En stegvis multipel regression visar att mängden *Chaoborus* (antal/ m^3) och tätheten stora djurplankton (mm^3/m^3) förklarar en mycket stor andel av variationen i S_v : $S_v = -97,74 + 18,8 \times \log(\text{Chaoborus}[\text{antal}/\text{m}^3] + 1) + 4,5 \times \log(\text{stora djurplankton} [\text{mm}^3/\text{m}^3])$, $r^2 = 93,5$, $r^2_{\text{adj}} = 92,4$, $p = 0,025$ (figur 14). De låga tätheter *Mysis* som vi observerade hade ingen effekt på S_v ($T = -0,62$ $P = 0,548$). Tre prover exkluderades från analysen på grund av problem med maskningen. De exkluderade proven hade mycket låga tätheter av djurplankton ($< 50\text{mm}^3/\text{m}^3$).



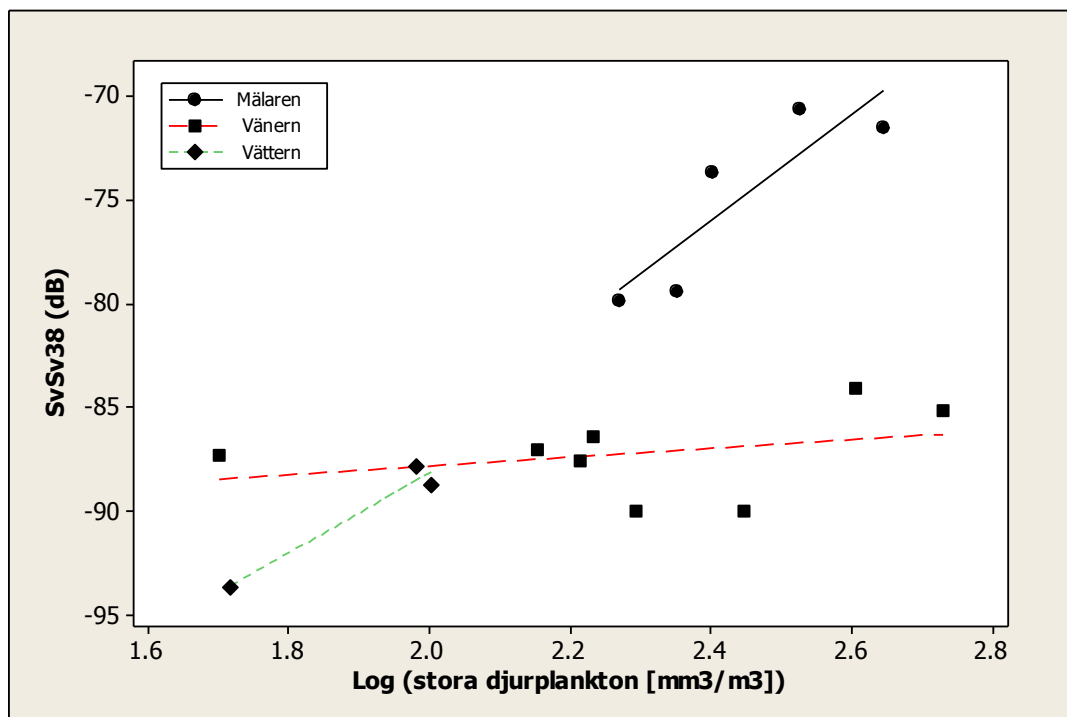
Figur 9. Ekogram från hydroakustiska mätningar dagtid i Vänern. Till höger har 38kHz använts för att maskera bort signaler från fisk. Till vänster har 120 kHz använts. Det svarta är maskade ekon från fiskar. Det blå bandet nära ytan är troligen koncentrationer av djurplankton. Notera avsaknad av *Mysis* dagtid (jämför figur 10).



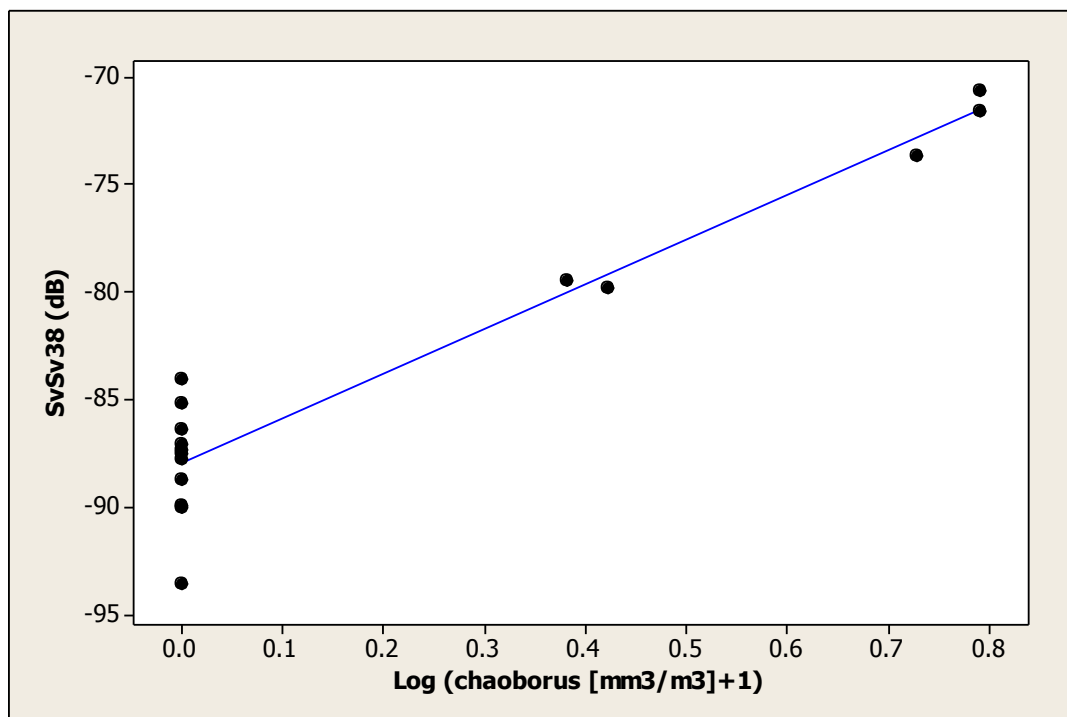
Figur 10. Ekogram från Vättern nattetid. Det blå nedtill är troligen *Mysis*. Det svarta är fiskekon som maskats bort för att inte dölja de svagt reflekterande evertebraterna.



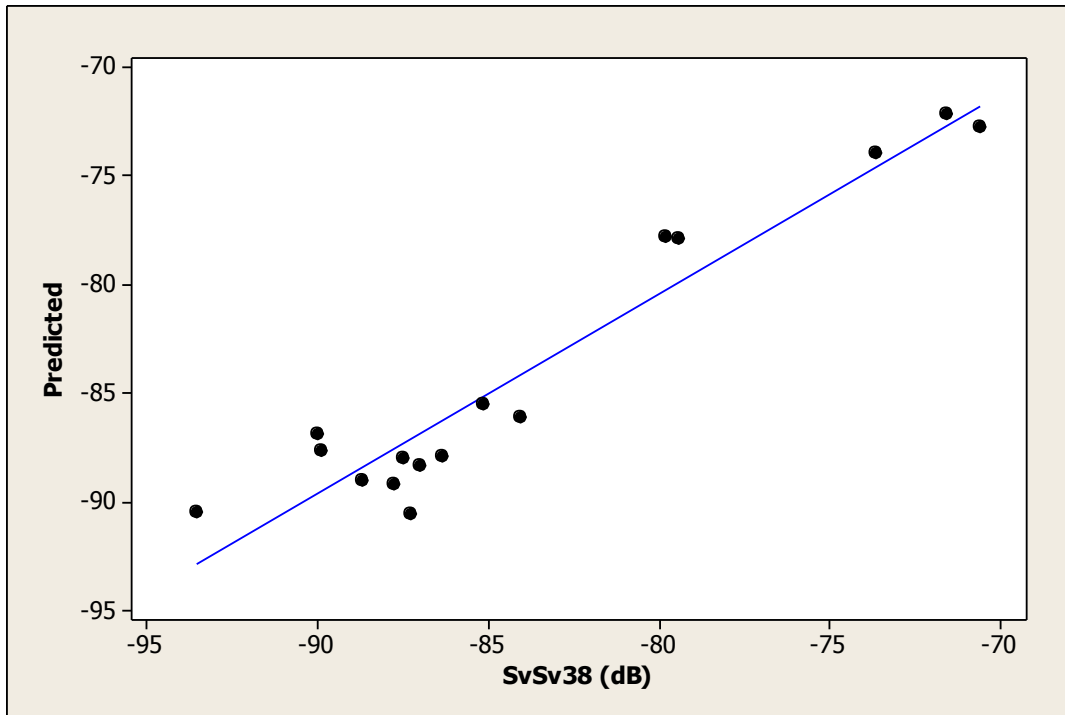
Figur 11. Ekogram från Mälaren nattetid. De svarta områdena är bortmaskade fiskar. Den höga fisktätheten försvårar analysen av evertebrater.



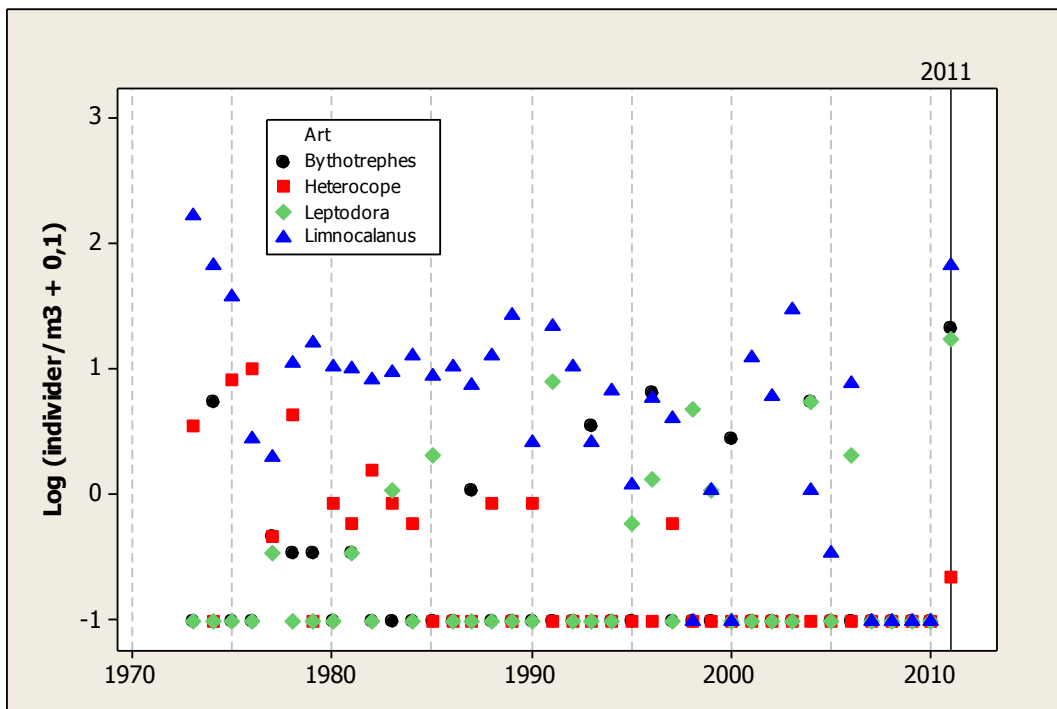
Figur 12. Mängden stora djurplankton som trälats med s.k. Tucker-träl relaterat till reflekterad ekoenergi (S_v) från ekolodning med 120kHz. Fiskekon har identifierats i 38 kHz och filtrerats bort (Vänern, Vättern och Mälaren 2011). Stora zooplankton > 50mm³/m³. Provpunkter med planktontäthet under 50mm³/m³ har inte tagits med.



Figur 13. Reflekterad ekoenergi (S_v) från ekolodning med 120kHz vid olika tätheter av tofsmygglarver, *Chaoborus*. Fiskekon har identifierats i 38 kHz och filtrerats bort.



Figur 14. Jämförelse mellan resultatet från en linjär modell ($-97,74 + 18,8 \times \log(\text{chaoborus}[\text{antal}/\text{m}^3] + 1) + 4,5 \times \log(\text{stora djurplankton} [\text{mm}^3/\text{m}^3])$), $r^2 = 93,5$, $r^2_{\text{adj}} = 92,4$, $p=0,025$) och reflekterad ekoenergi (S_r) från ekolodning med 120kHz. Fiskekon har identifierats i 38 kHz och filterats bort.



Figur 15. Djurplankton vid Tärnan, Vänern. Punkterna på linjen är från Asterix-undersökningen 2011. Resterande punkter är från den ordinarie undersökningen. -1 motsvarar ingen fångst.

Diskussion

Biomassan stora djurplankton var stor (figur 8), i samma storleksordning som mängden planktivor fisk enligt den hydroakustiska undersökningen. Även de mängder fisk som förväntas för sjöarna utgående från fosforhalt och djup är i samma storleksordning (50-120 kg fisk/ha för Mälaren (TP 20-70 µg/l), 20-25 i Vänern (TP 5-8) respektive 12-16 kg/ha i Vättern (TP 3-4) enligt empirisk regression från Peters (1986)). Resultaten visar alltså att stora rovlevande djurplankton förekommer i så stora tätheter att de har potentialen att vara viktiga predatorer på djurplankton, men att de i ordinarie djurplanktonprovtagningsprogram underskattas systematiskt. Det finns klara rumsliga mönster, vilket talar för att hydroakustiska undersökningar som är yttäckande skulle tillföra väsentlig information.

Studien indikerade att det skulle vara lämpligare att utföra hydroakustisk planktonövervakning på dagen. Detta för att mysider och *Chaoborus* då håller sig nära botten. Detta skulle öka chanserna att med precision uppskatta mängden stora djurplankton, speciellt för *Limnocalanus* som delar habitat med *Mysis*. Inget tyder på att dessa plankton vandrar ner till botten på dagen, tvärt om var tätheten i våra prover högre på dagen – vilket skulle kunna tyda på att en del av de djurplankton som håller sig i de översta 5 metrarna, som inte går att övervaka med hydroakustiken, rör sig nedåt dagtid och då kan detekteras vid ekolodningen. Dessutom sker fiskövervakningen nattetid då fiskarna är utspridda och man kan särskilja individuella fisk-ekon. I det här fallet vill vi filtrera bort fiskarna, och då torde det vara en fördel om de är aggregerade eller har sökt sig nära botten i skydd för predatorer.

Vissa mönster i artsammansättning uppenbarar sig redan vid en sådan här undersökning, som t.ex. att *Limnocalanus* förekommer rikligare på djupare platser. Men även frågor som kräver tidsserier väcks. Varför finns *Heterocope* nu mer bara i Vättern? Varför saknas *Bythotrephes* nästan helt i Mälaren, trots att den vissa år har varit mycket talrik – även i den ordinarie provtagningen?

En tillförlitlig tidsserie över abundans- och biomassedata skulle vara värdefullt för att öka förståelsen för dynamiken i dessa pelagiska system och i synnerhet för att kvantifiera tillgången på viktiga födoorganismer. Detta skulle i sin tur öppna möjligheter för att undersöka om förändringar i tätheter av stora djurplankton kan förklara förändringar i bestånd av t.ex. siklöja och nors. Men även för att förklara dynamiken i den övriga pelagiska födoväven samt att studera vilka övriga faktorer, t.ex. klimat-relaterade, som påverkar tillgången av stora djurplankton.

En effektiv övervakning skulle också öka möjligheten att detektera samt effektivt övervaka eventuella invasiva arter som har möjlighet att sprida sig till de stora sjöarna, t.ex. via ballastvatten.

Sammanfattningsvis visar denna studie att det är möjligt att riktat övervaka stora djurplankton i Vänern, Vättern och Mälaren med en kombination av Tuckertrål och hydroakustik.

Tack:

Tack till Martin Ogonowski och Sture Hansson på Institutionen för Systemekologi, Stockholms Universitet, för lånet av Tuckerträlen. Tack även till Björn Wiklund som räknat planktonproverna och Björn Kinsten som räknat *Mysis* och hjälpte till att samla in planktonprover. Och tack till U/F Asterix som erbjöd utmärkta arbetsförhållanden, speciellt genom de ombordvarande: Kaptenen

Lars-Erik Wiberg, Thomas Axenrot och Anders Asp. Sist men inte minst, ett stort tack till Lars Rudstam på Cornell University, Ithaca, för assistans med analysen av hydroakustikdatamaterialet.

Referenser

- Axenrot, T., M. Ogonowski, et al. (2009). "Multifrequency discrimination of fish and mysids." ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil **66**(6): 1106-1110.
- Barbiero, R. P. och M. L. Tuchman (2004). "Changes in the crustacean communities of Lakes Michigan, Huron, and Erie following the invasion of the predatory cladoceran *Bythotrephes longimanus*." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **61**(11): 2111-2125.
- Foote, K. G. (1982). "Optimizing copper spheres for precision calibration of hydroacoustic equipment." Journal of the Acoustical Society of America **71**: 742-747.
- Foote, K. G., H. P. Knudsen, et al. (1987). Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. ICES Cooperative Research Report. **144**: 69.
- Ginter, K., K. Kangur, et al. (2011). "Diet patterns and ontogenetic diet shift of pikeperch, *Sander lucioperca* (L.) fry in lakes Peipsi and Võrtsjärv (Estonia)." Hydrobiologia **660**(1): 79-91.
- Hessen, D., V. Bakkestuen, et al. (2011). "The ecological niches of *Bythotrephes* and *Leptodora*: lessons for predicting long-term effects of invasion." Biological Invasions **13**(11): 2561-2572.
- Knudsen, F. R. och P. Larsson (2009). "Discriminating the diel vertical migration of fish and *Chaoborus flavicans* larvae in a lake using a dual-frequency echo sounder." Aquatic Living Resources **22**(3): 273-280.
- Kinsten, B. (2012). "Glacialrelikta kräftdjur i Väner och Vättern 2012." Vätternvårdsförbundet
- Korneliussen, R. J. (2004). "The Bergen echo integrator post-processing system, with focus on recent improvements." Fisheries Research **68**(1-3): 159-169.
- Korneliussen, R. J., N. Diner, et al. (2008). "Proposals for the collection of multifrequency acoustic data." ICES Journal of Marine Science **65**(6): 982-994.
- Korneliussen, R. J. och E. Ona (2002). "An operational system for processing and visualizing multi-frequency acoustic data." ICES Journal of Marine Science **59**(2): 293-313.
- Lilljeborg, W. (1982[1900]). Cladocera Suecica: facsimile reissue of the original edition with a prologue. Stockholm, Almqvist & Wiksell international.
- Nilsson, N.-A. (1979). "Food and habitat of the fish community of the offshore region of Lake Vänern, Sweden." Rep Inst Freshwat Res Drottningholm **58**: 126-139.
- Northcote, T. G. och H. Rundberg (1971). "Fördelningen av pelagiska fiskarter i Lambarfjärden (Mälaren) med speciell hänsyn till konkurrens mellan nors och siklöja." Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm(7).

Simmonds, J. E. och D. N. MacLennan (2005). Fisheries acoustics: theory and practice, John Wiley & Sons.

Vallin, S. (1969). "Sikløjans näringsbiologi i Lambarfjärden; Mälaren." Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm 7: 1-57.

Warren, G. J. (1985). "Predaceous feeding-habits of *Limnocalanus macrurus*." Journal of Plankton Research 7(4): 537-552.

Yan, N. D., B. Leung, et al. (2011). "The spread, establishment and impacts of the spiny water flea, *Bythotrephes longimanus*, in temperate North America: a synopsis of the special issue INTRODUCTION." Biological Invasions 13(11): 2423-2432.

Bilaga: Tabeller

Tabell 1. Medelabundans och variationskoefficient (CV) för Bythotrephes, Leptodora, Limnocalanus och Heterocope inom och mellan provtagningsstationer i de tre stora sjöarna. Resultaten avser vertikala håvdrag (N=2-5 för varje station)

Taxon	Sjö	Abundans (ind m ⁻³)	CV inom stationer	CV mellan stationer
Bythotrephes	Mälaren	0,231	96,0	61,5
Bythotrephes	Vänern	9,08	31,3	68,1
Bythotrephes	Vättern	4,94	68,6	78,7
Leptodora	Mälaren	25,8	25,4	76,7
Leptodora	Vänern	12,6	45,3	91,4
Leptodora	Vättern	3,37	56,9	65,5
Limnocalanus	Mälaren	196	9,65	141
Limnocalanus	Vänern	100	33,7	51,9
Limnocalanus	Vättern	336	36,5	69,1
Heterocope	Mälaren	0,296	96,0	16,8
Heterocope	Vänern	0,483	113	134
Heterocope	Vättern	17,2	44,9	98,4

Tabell 2. Förekomst av ovanliga taxa i prover tagna både med håv och Tuckertrål. Värdena anger antalet prov där respektive taxon observerats

Sjö	Antal prover	Caligus lacustris	Polyphemus	Chironomini	Hydracarina	Chironomidae
Mälaren	9	0	0	0	7	1
Vänern	28	2	2	0	0	1
Vättern	21	0	0	1	0	0

Tabell 3. Fångster i tuckerträlen

Sjö	Tuckerdjup(m)	Sv (dB)	Stora djurplankton (mm ³ /m ³)	Chaoborus (antal/m ³)	Mysis (antal/m ³)
Mälaren	5	-70,6	335,8	5,2	0,1
Mälaren	8,5	-71,6	443,0	5,2	0,1
Mälaren	15	-73,6	253,3	4,4	0,1
Mälaren	5	-79,4	225,4	1,4	0,7
Mälaren	13	-79,8	186,3	1,6	0,6
Vänern	5,5	-84,1	404,2	0,0	0,0
Vänern	13,8	-87,0	142,1	0,0	0,1
Vänern	19,3	-87,3	50,3	0,0	0,6
Vänern	8	-90,0	280,7	0,0	0,2
Vänern	13,4	-86,3	171,4	0,0	0,4
Vänern	25	-89,9	196,7	0,0	1,0
Vänern	1	NA	277,0	0,0	0,0
Vänern	5,4	-85,1	536,8	0,0	0,0
Vänern	15,3	-87,5	163,5	0,0	0,0
Vättern	5	-69,0	35,5	0,0	0,0
Vättern	10	-84,1	17,6	0,0	1,8
Vättern	23,2	-93,6	52,1	0,0	0,7
Vättern	5	-73,0	47,8	0,0	0,1
Vättern	10	-88,7	100,7	0,0	0,1

Tabell 4. Jämförelse mellan vertikala håvprover i denna studie och ordinarie djurplanktonprovtagningar 2011. Siffrorna anger medianvärde (ind/m³)

Station	Ordinarie	Limnocalanus	Bythotrephes	Leptodora	Heterocope
Dagskär (Vänern)	Asterix	44,4	8,9	18,1	1,7
Dagskär (Vänern)	Ordinarie	0	0	0	0
Tärnan (Vänern)	Asterix	68,0	21,6	17,3	0,1
Tärnan (Vänern)	Ordinarie	30	0	0	0
Jungfrun (Vättern)	Asterix	197,2	7,6	4,7	25,3
Jungfrun (Vättern)	Ordinarie	0	4,3	1,2	24,2
Edeskvarna (Vättern)	Asterix	292,7	1,0	2,0	8,1
Edeskvarna (Vättern)	Ordinarie	40	0,2	0,8	0
Prästfjärden (Mälaren)	Asterix	392,1	0,3	11,8	0,3
Prästfjärden (Mälaren)	Ordinarie	0	41,5	0	0
Granfjärden (Mälaren)	Asterix	0	0,1	39,7	0,3
Granfjärden (Mälaren)	Ordinarie	0	0	0	0