

# Aqua reports 2020:12

## **Hydroakustik i sötvatten**

Ett verktyg i fisk- och miljöövervakning

Thomas Axenrot



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Department of Aquatic Resources

## Hydroakustik i sötvatten

Ett verktyg i fisk- och miljöövervakning

Thomas Axenrot

**Sveriges lantbruksuniversitet (SLU)**, Institutionen för akvatiska resurser,  
Stångholmsvägen 2, 178 93 Drottningholm

september 2020

Aqua reports 2020:12

ISBN: 978-91-576-9788-2 (elektronisk version)

E-post till ansvarig författare:

thomas.axenrot@slu.se

Rapportens innehåll har granskats av:

Sture Hansson, Stockholms universitet, Institutionen för ekologi, miljö och botanik

Kerstin Holmgren, **Sveriges lantbruksuniversitet**, Institutionen för akvatiska resurser

Helena Strömberg, **Sveriges lantbruksuniversitet**, Institutionen för akvatiska resurser

Martin Ogonowski, **Sveriges lantbruksuniversitet**, Institutionen för akvatiska resurser

Olavi Kaljuste, **Sveriges lantbruksuniversitet**, Institutionen för akvatiska resurser

Vid citering uppge:

Axenrot, T. (2020). Hydroakustik i sötvatten. Ett verktyg i fisk- och miljöövervakning. Aqua reports 2020:12. Institutionen för akvatiska resurser, **Sveriges lantbruksuniversitet**, Drottningholm Lysekil Öregrund. 37 s.

Nyckelord:

hydroakustik, fisk, beståndsskattning, akvatisk miljöövervakning

Rapporten kan laddas ned från:

<http://pub.epsilon.slu.se/>

Finansiär:

Havs- och vattenmyndigheten, Dnr 1886-19 (SLU.ID är 2019. 5-4-225)

Rapporten har tagits fram på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten. Rapportförfattarna ansvarar för innehållet och slutsatserna i rapporten. Rapportens innehåll innebär inte något ställningstagande från Havs- och vattenmyndighetens sida.

Chefredaktör:

Noél Holmgren, prefekt, institutionen för akvatiska resurser, Lysekil

Framsida: Med hydroakustik kan man studera livet under ytan både natt och dag. Foto: Thomas Axenrot

## Sammanfattning

Hydroakustik används idag globalt vid yrkes- och fritidsfiske, men även vetenskapligt i syfte att bidra med underlag till förvaltning av fiskbestånd och för miljöövervakning. Tekniken har genomgått en allt snabbare utveckling under de senaste hundra åren och är särskilt lämplig då stora områden och djup ska övervakas. De vetenskapliga tillämpningarna förutsätter ekolod som kan kalibreras men även kunskaper om området som ska undersökas och fiskars biologi, fysiologi och beteende för tolkning av resultaten. Hydroakustik skadar eller dödar inte fiskarna, men ofta måste mindre stickprov fångas för att bestämma art- och storlekssammansättning. För beståndsskattning av fisk är den vanligaste metoden mobil, vertikal ekolodning.

En undersökning föregås av planering för adekvat utformning utifrån syfte och aktuella förutsättningar. Hydroakustiska data samlas in längs transekter som planerats för att ge erforderlig täckning av området som ska undersökas. I Sveriges stora sjöar har hydroakustik använts för beståndsskattning av pelagiska fiskar sedan början av 1990-talet. De bearbetade resultaten och analyserna bidrar med underlag till myndigheter att bedriva ekosystembaserad fiskförvaltning samt att upptäcka och följa eventuella förändringar i fisksamhällen och miljö.

*Nyckelord:* hydroakustik, fisk, beståndsskattning, akvatisk miljöövervakning

## Summary

Hydroacoustics has undergone an increasingly rapid development over the last hundred years. Today, hydroacoustics is used globally in commercial and leisure fishing, as well as scientifically in order to contribute with a basis for the management of fish stocks and for environmental monitoring. The technology is particularly suitable when monitoring large areas and depths. The scientific applications require echo sounders that can be calibrated but also knowledge of the area to be investigated and fish biology, physiology and behavior for interpretation of the results. Hydroacoustics does not harm or kill the fish, but small biological samples are usually needed to determine the species and size composition. For abundance estimation of fish, the most common method is mobile, vertically directed hydroacoustics.

An investigation is preceded by planning for adequate survey design based on purpose and current conditions. Hydroacoustic data is collected along transects planned to provide sufficient coverage of the area to be investigated. In the large lakes of Sweden, hydroacoustics have been used for abundance estimation of pelagic fish since the early 1990s. The processed results and analyzes provide a basis for authorities to conduct ecosystem-based fish management and to detect and monitor changes in fish communities and the environment.

Keywords: hydroacoustics, fish, stock assessment, aquatic environmental monitoring

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Hur fungerar det?</b> .....	<b>9</b>
2.1. Allmänt.....	9
2.2. Räckvidd och upplösning.....	9
2.3. Reflektionsförmåga/Målstyrka .....	10
2.4. Position i ljudkonen.....	12
2.5. Kalibrering.....	12
<b>3. Användning idag</b> .....	<b>14</b>
3.1. Allmänt.....	14
3.2. Hydroakustik i sötvatten .....	15
3.2.1. Metoder och tillämpningar .....	15
3.2.2. Utformning av undersökning ( <i>Survey design</i> ) .....	16
3.2.3. Datainsamling .....	19
3.2.4. Databearbetning och analys .....	22
3.2.5. Resultat och användning .....	26
3.2.6. Speciella tillämpningar .....	32
<b>Referenser</b> .....	<b>33</b>
<b>Internetreferenser</b> .....	<b>36</b>
<b>Tack</b> .....	<b>37</b>



# 1. Inledning

”Redan de gamla grekerna” brukar man säga, men i detta fall är den tidigaste referensen till att ljud kan förflytta sig under vatten en anteckning av Leonardo da Vinci från 1490. Da Vinci hade noterat att han hörde ljud från skepp på stort avstånd genom att lyssna i en tub nedsänkt i vattnet. Det var dock inte förrän 1827 som Colladon & Sturm lyckades mäta upp ljudets hastighet i vatten, ca. 1 500 m/s (Simmonds & MacLennan 2005). Ljudets hastighet i luft – som vårt hörande normalt är beroende av – är ca. 340 m/s, dvs. ljudhastigheten är mer än fyra gånger snabbare i vatten. Ljudhastigheten i vatten varierar med bl.a. temperatur och eventuell salthalt, vilket betyder att man måste mäta dessa parametrar för att kunna ställa in – kalibrera – utrustningen rätt.

Så småningom medgav den tekniska utvecklingen att ekon från utsända signaler i vatten kunde registreras. Att fisk kunde skapa sådana reflektioner noterade bl. a. Kimura i en bassäng 1929 (Simmonds & MacLennan 2005), och norrmannen Sund (1935) kunde registrera ekon av torsk på ekogram från Lofoten. Under andra världskriget utvecklades tekniken ytterligare, dock för andra syften än fiskedetektion. Från 1950-talet blev detektering av fisk med hjälp av hydroakustik allt vanligare och idag används hydroakustik över hela världen vid yrkes- och fritidsfiske samt för vetenskapliga ändamål (Fréon & Misund 1999, Simmonds & MacLennan 2005).

För alla vetenskapliga studier som fångar och hanterar fisk – oavsett om de dödas eller släpps ut levande under eller efter studien - behövs djuretiska tillstånd som prövas av särskilda djuretiska nämnder. För provfisken i Sveriges insjöar, som t.ex. trålning, behövs även ett beviljat undantag från fiskebestämmelser vilket Havs- och Vattenmyndigheten (HaV) ansvarar för. Ekolodning sker utan att varken skada eller döda de fiskar som registreras vid undersökningarna och lyfts därför fram som en metodik som bör öka i användning för att minska mängden fisk som dödas i vetenskapliga undersökningar enligt principen 3R (Internetreferens 1).



*Hydroakustiska undersökningar i sötvatten genomförs ofta nattetid, i mörker, då fiskstimmen löses upp och fiskar lämnar skyddande strukturer som t.ex. botten och på så sätt blir mer tillgängliga att registreras med hjälp av ekolod. Datainsamlingen i fält innefattar arbete med avancerad hydroakustisk- och datateknik, praktiskt arbete på däck med trålning och annan provtagning samt fiskbiologi vid artbestämning och omhändertagande av fångsten.*



## 2. Hur fungerar det?

### 2.1. Allmänt

Principen är densamma som när man ropar något och efter en stund hör ett eko – ljudvågor som skapats studsar mot t.ex. en bergvägg och man hör ett eko. Tiden tills man hör ekot påverkas av avståndet mellan roparen och bergväggen, och ekot blir svagare ju längre sträcka ljudvågen färdats. Fast med hydroakustik är det ett ekolod – dvs. lådan med all elektronik – som skickar en elektrisk signal till en svängare (eng. transducer/transciever) som omvandlar den elektriska signalen till en rörelse vilken i sin tur skapar en tryckvåg i vattnet. Denna fungerar som en ljudvåg som sprids konformigt genom vattnet om inget är i vägen, s.k. fri sfärisk spridning. Dessa ljudvågor – som ofta kallas pulser eller ping – kan skickas ut flera gånger per sekund. Om pulsen träffar något i sin väg - som en fisk eller botten - reflekteras en del av ljudvågen tillbaka till svängaren, dvs. objektet som träffats skapar ett eko. Tidsskillnaden från att pulsen sändes ut till dess reflektionen – ekot – registreras indikerar avståndet till objektet. Ekostyrkan påverkas av den utsända pulsens ursprungliga energi, förluster pga. absorption i vattnet, målets reflektionsförmåga och position i ljudvågen (dvs. avstånd från den akustiska axeln som är 90° relativt svängaren). Absorption av energin ökar med högre frekvens och påverkas av temperatur och salthalt, samt av sträckan pulsen färdas - till målet och tillbaka till svängaren igen.

### 2.2. Räckvidd och upplösning

Lägre frekvens hos ekolodet ger längre räckvidd men samtidigt sämre upplösning av små organismer. Upplösningen är beroende av våglängden i ljudvågen och kan beräknas som ljudhastigheten dividerat med frekvensen. Till exempel, om ljudhastigheten är 1450 m/s så är denna upplösning vid 38 kHz ca fyra cm och vid 120 kHz ca 1 cm. Det är därför viktigt att målsättning och användningsområde är klarlagt innan ekolodsutrustningen införskaffas. För beståndsskattning av fisk i sötvatten rekommenderas frekvenser från 38 kHz och högre (CEN 2014). För t.ex.

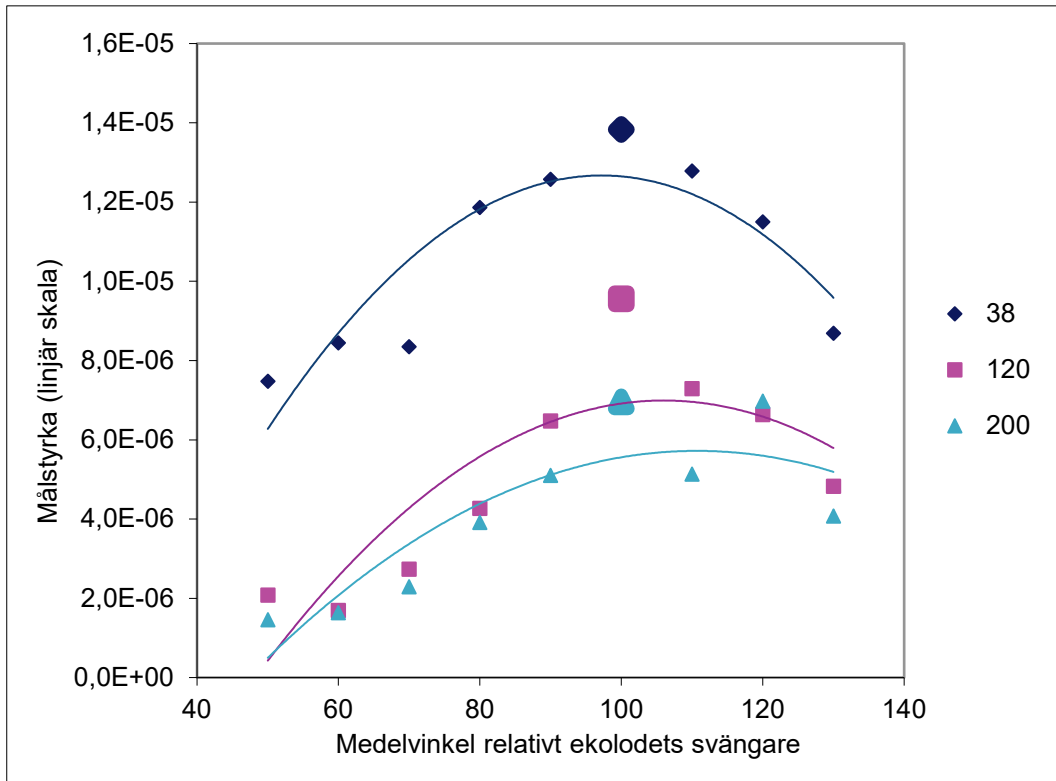
bottendetektion i havet där stora djup kan förekomma rekommenderas 10-50 kHz (Simmonds & MacLennan 2005).

### 2.3. Reflektionsförmåga/Målstyrka

Målets reflektionsförmåga, eller målstyrka (eng. *target strength, TS*), beror på skillnaden i densitet (täthet) mellan vattnet och det som reflekterar ljudvågen. Om botten är hård ger den ett tydligt eko, men löst sediment eller biologiskt material på botten kan göra reflektionen från botten mindre tydlig. På så sätt kan man inte bara mäta avståndet till botten, dvs. djupet, utan även bottenhårdhet, särskilt om man har tillgång till två eller flera frekvenser med varierande förmåga att tränga igenom olika material.

Målsättningen med en hydroakustisk undersökning är ofta att detektera och studera fisk. Fiskars målstyrka beror till 90-95 % på den gasfyllda simblåsan, på grund av skillnaden i densitet mot det omgivande vattnet, och till resterande del på vävnad, fett och ben. Därför måste fiskars fysiologi beaktas då man vill bestämma storleken på en fisk utifrån ett det reflekterade ekots styrka (Foote 1987, Misund 1997, Simmonds & MacLennan 2005). Fiskar som saknar simblåsa, som t.ex. makrill, ger ett mycket svagt eko i jämförelse med en lika stor fisk som har simblåsa.

Skillnaderna beror i huvudsak på storlek, art och reflektionsyta. Med reflektionsyta avses fiskens position mot svängaren. Vid den vanligaste typen av ekolodning skickas signalen vertikalt från svängaren så att fiskens ryggsida ger ekot. Man förutsätter att merparten fiskar har en normal position så att hela ryggsidan ger reflektion. Detta antagande stämmer bäst under dag och natt, men mindre bra under gryning och skymning då en hel del vertikala förflyttningar sker, särskilt i pelagiska fisksamhällen (Helfman m fl. 2009). Målstyrkan hos en fisk minskar avsevärt om fisken avviker från normal position varför man brukar undvika att samla in data för beståndsskattning under grynings- och skymningstimmar. Här spelar även ekolodets frekvens roll där högre frekvenser är mer känsliga för fiskens vinkel mot ekolodets svängare (Figur 1).



Figur 1. Målstyrkan hos enskilda fiskar varierar med vinkeln relativt ekolodets svängare och är starkast omkring 90-100 graders vinkel. Känsligheten för denna direktivitet ökar för högre frekvens hos ekolodet. Exempel från vertikal ekolodning (alewife, *Alosa pseudoharengus*, Cayuga Lake, USA).

Vid s.k. horisontell ekolodning träffar signalen fisken från sidan som kan vara allt från hela fisken till huvud (framifrån) eller stjärt (bakifrån) vilken resulterar i mycket stor variation i reflekterad ekostyrka.

För att beräkna en enskild fisks längd från målstyrkan (eller tvärtom) används oftast ekvationer av formen

$$TS = A \cdot \log(L) + B \quad (1)$$

$$TS = A \cdot \log(L) - 0,9 \cdot \log(f) + B \quad (2)$$

där  $A$  och  $B$  är konstanter som beräknats från empiriska experiment och teori,  $L$  är fiskens totala längd, och  $f$  är ekolodets frekvens (Simmonds & MacLennan 2005, CEN 2014). Eftersom simblåsans relativa storlek och utseende varierar mellan arter finns flera artspecifika ekvationer som även är specifika för använd frekvens. Detta gäller särskilt för kommersiellt viktiga arter. För en del närbesläktade arter används ibland samma ekvation, som t.ex. för sillfiskar (sill, strömming, skarpsill) i Östersjön eller karpfiskar (mört, sarv, braxen osv) i sötvatten. För många arter

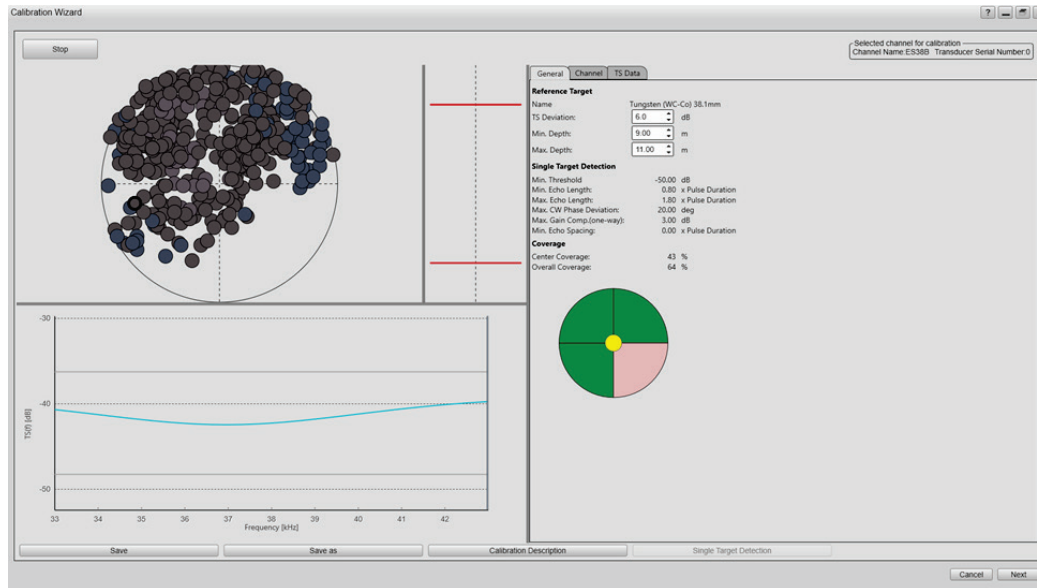
saknas artspecifik ekvation och som kompromiss används då ofta allmängiltiga ekvationer som t.ex. Love (1971; CEN 2014).

## 2.4. Position i ljudkonen

Som nämnts sprids ljudvågen konformigt i vattnet så att sträckan för ljudvågen blir längre om t.ex. en fisk träffas i utkanten av konen än om den träffats i den hydroakustiska axeln (enligt Pythagoras sats) vilket innebär att ekostyrkan från fisken blir svagare ju längre från den hydroakustiska axeln den befinner sig. Äldre ekolod kunde inte bestämma fiskens position i konen varför någon mer exakt storlek på fisken inte kunde beräknas från ekostyrkan. Moderna ekolod och svängare har s.k. *split beam*, vilket innebär att ekot från t.ex. en fisk tas emot i vanligen fyra kvadrater på svängaren. Skillnad i registrerad ekostyrka mellan dessa kvadrater gör det möjligt att beräkna fiskens position i ljudkonen, korrekt kompensera energiförlusten för den sträcka ljudvågen färdats i vattnet och därmed beräkna en korrekt målstyrka (Simmonds & MacLennan). Vetenskapliga ekolod registrerar både den totala reflekterade energin och energin från godkända, enskilda ekon (eng. *Single Echo Detections*, SED). På så vis skapas en hydroakustisk storleksfördelning som kan jämföras med resultat från trålningen.

## 2.5. Kalibrering

Vetenskapliga ekolod ska kalibreras (Figur 2) i samband med varje uppdrag, vid byte av miljö - som t.ex. från sötvatten till saltvatten eller ändrad salthalt som i Skagerak och Östersjön, samt vid förändring av kablage till och från ekolodsutrustningen. Portabla ekolod behöver kalibreras varje gång de plockats isär för transport (Simmonds & MacLennan 2005, Parker-Stetter et al. 2009, CEN 2014, ICRR 2015).

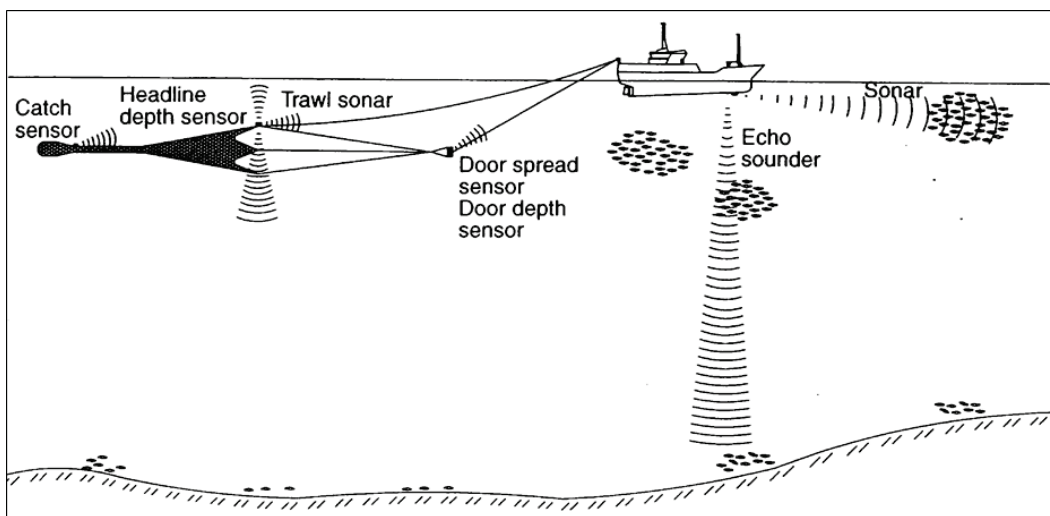


Figur 2. Kalibrering av vetenskapligt ekolod. Godkända enskilda ekon (SED) från en standardiserad kalibreringskula ska registreras i tillräckligt antal över ytan för varje kvadrant som tar emot sådana signaler. Programvaran i nya ekolod har inbyggd kalibreringsmodul som hjälper till att visa när antalet accepterade "träffar" har registrerats (gröna fält). Exempel från kalibrering av Simrad EK80 ekolod med 38 kHz svängare.

## 3. Användning idag

### 3.1. Allmänt

Framstegen inom digital teknik medförde från 1970-talet en snabb utveckling av hydroakustik. Under 1990-talet förbättrades tekniken ytterligare i snabb takt med t.ex. *split-beam*, nya material och möjligheter att ansluta avancerade datorer. Snabbare datorer och lagring av stora mängder data har de senaste årtiondena spelat stor roll, och kanske framför allt för vetenskapliga ändamål. I det storskaliga yrkesfisket används hydroakustik idag inte bara för att "hitta" fisk, utan även för att övervaka utrustning, t.ex. tråldjup, trålöppning eller hur mycket fisk som fångas i trålen (Figur 3; Fréon & Misund 1999, Simmonds & MacLennan 2005).



Figur 3. Exempel på användning av hydroakustisk teknik för såväl fiske som forskning (figur från Misund 1997).

Hydroakustisk teknik har framför allt utvecklats och använts för att lokalisera fisk som fångas i storskaligt yrkesfiske till havs. Även idag används hydroakustik – både i yrkesfiske och för vetenskapliga ändamål – framför allt i den marina miljön då tekniken lämpar sig för övervakning av stora vatten. Så har t.ex. Havsforskningsrådet ICES (International Council for the Exploration of the Sea) en

särskild, permanent arbetsgrupp för hydroakustik (WGFAST – Working Group on Fisheries Acoustics, Science and Technology; internetreferens 2). Länder med stora fiskeflottor har oftast varit ledande vid utvecklingen av hydroakustik, däribland Norge som får betraktas som ett av de länder som är världsledande inom detta område. Hydroakustisk teknik är emellertid ett verktyg som lämpar sig även för kust- och inlandsvatten. I t.ex. Nordamerika och Europa har hydroakustik i stora sjöar använts i sådan omfattning och för sådana ändamål att det funnits anledning att standardisera metodik och i viss mån även krav på utrustning för att kunna jämföra resultat mellan sjöar och över tid (Parker-Stetter et al. 2009, CEN 2014).

## 3.2. Hydroakustik i sötvatten

### 3.2.1. Metoder och tillämpningar

Med mobil ekolodning avses att ekolodet/svängaren rör sig i förhållande till omgivningen – vanligen fast monterad på en båt eller dragen vid sidan om båten på valt djup i en ”dragsläde” (eng. *tow body*).

Vertikal ekolodning är den vanligaste metoden att använda ekolod för att skatta storlek på fiskbestånd. Att rikta ljudet rakt nedåt är det hittills säkraste sättet att beräkna fiskmängder och storlekar utifrån ekostyrka. För att detektera fiskförekomst, kartlägga bottnar mm. används allt oftare s.k. *sidescanning* och *multibeam* ekolod (*sonar*), men dessa metoder och användningsområden behandlas inte vidare här.

Horisontell ekolodning är ett alternativ för att detektera fisk nära ytan, som är en s.k. blind zon vid vertikal ekolodning pga. svängaren sänkts ner en bit under ytan samt har en närgräns för att registrera data. Då riktas ljudet åt sidan. För att denna metod ska fungera behöver man oftast använda en svängare med liten utgångsvinkel för att undvika att ljudet studsar mot yta eller botten då detta genererar i felaktiga resultat. Om svängaren är monterad på en båt och vågrörelser på vattnet får båten att gunga påverkas funktionen och kvaliteten på insamlade data negativt.

Vid horisontell ekolodning i sjöar kan fisken vara vänd i vilken vinkel som helst mot svängaren vilket ger svårigheter att beräkna storlek både på individuella fiskar och på beståndsstorlek. I rinnande vatten är vågor oftast ett mindre problem och fiskars position är vanligen orienterad längs med strömmen.

Den europeiska standarden som gäller som vägledning för beståndsskattning av fisk med hydroakustiska metoder avser endast mobil tillämpning (CEN 2014).

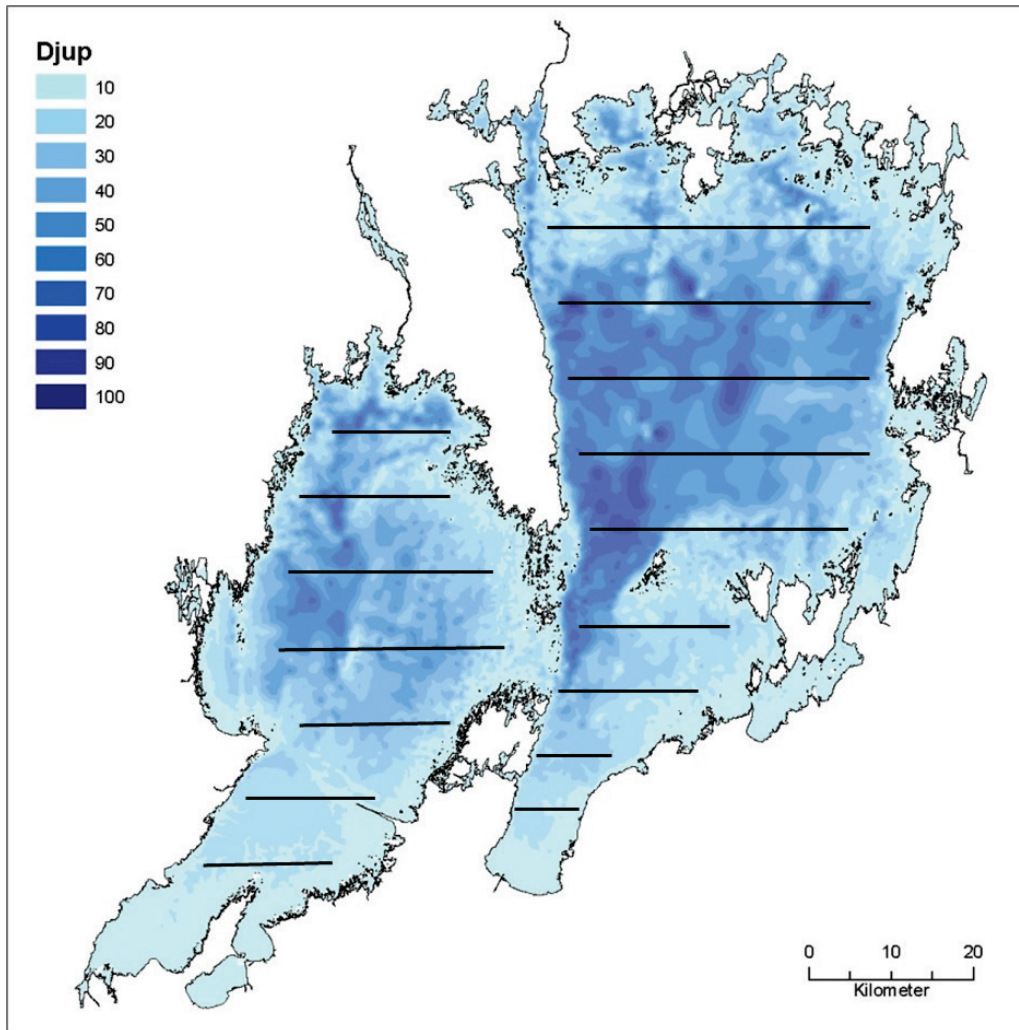
Vid stationär ekolodning har svängaren en fast position. Metoden, som kan tillämpas vertikalt eller horisontellt, används t.ex. för att studera fiskars beteende vid vandring och ansamling vid vandringshinder, beteende vid övervintringsplatser, aktivitetsskillnader under dygnet mm. (Huse & Ona 1996, Huse & Korneliussen 2000, Fabi & Sala 2002, Axenrot et al. 2004). För vandringsstudier där det är tillfyllest med kort räckvidd har även varianter på ekolod med betydligt högre frekvens använts (s.k. *imaging sonars*, 700-3 000 kHz; optimal räckvidd ca. 70-80 m), där t.ex. fiskens längd kan beräknas från den bild som genereras. Stationär ekolodning behandlas inte vidare här.

### 3.2.2. Utformning av undersökning (*Survey design*)

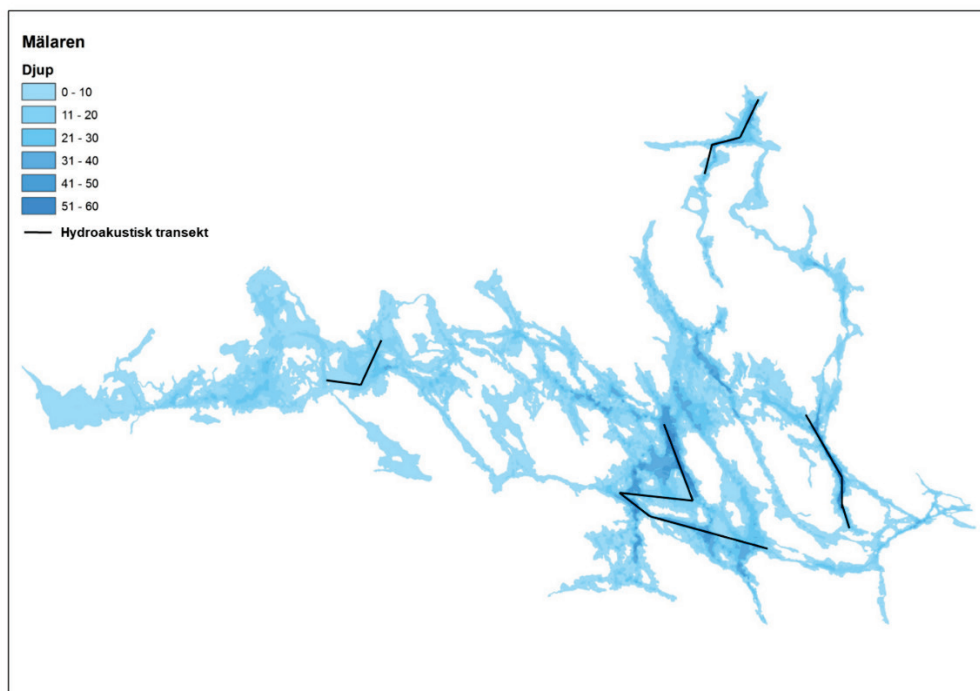
Inför ett första undersökningstillfälle behövs information om undersökningsområdet – djupförhållanden, temperatur- och syreförhållanden, fiskarter och biologi, samt annan tillämplig limnologisk information (CEN 2014).

Före en första hydroakustisk undersökning är kunskapen ofta liten om fisksamhället i öppet vatten och dess utbredning i området. Det är därför svårt att bestämma en lämplig täckningsgrad för de hydroakustiska transekterna. Man kan initialt ta hjälp av ett index för täckningsgrad som utvecklats av Aglen (1983; CEN 2014). Om undersökningen ska upprepas vid fler tillfällen bör täckningsgraden anpassas till de faktiska förhållandena utifrån analys av insamlade data. Vid övervakning av större områden - till havs och i stora sjöar – är det vanligt att man fördelar de hydroakustiska transekterna parallellt med visst avstånd mellan transekterna. I mindre områden bör ett zick-zack mönster användas eller anpassa transekterna till de faktiska, fysiska förhållandena (CEN 2014; Figur 4 och 5).





*Figur 4. Exempel på parallella hydroakustiska transekter för övervakning av fiskbestånd i öppet vatten i Vänern.*



Figur 5. Exempel på anpassade hydroakustiska transekter för övervakning av fiskbestånd i öppet vatten i Mälaren. Transekterna får anpassas till sjöns morfologi och topografi.

Det är viktigt att bestämma tidpunkten för undersökningen, både tid på dygnet och på året. Undersökningen bör förläggas till tider då fisken är som mest tillgänglig för hydroakustisk registrering, dvs. när fisken vistas i öppet vatten. De flesta pelagiska fiskar är mindre bytesfiskar som undviker predatorer (rovfisk, fågel, säl) under dygnets ljusa period antingen genom att bilda stim eller genom att hålla sig nära botten eller andra strukturer. Därför är det oftast bäst att genomföra hydroakustiska undersökningar i mörker, med start en timme efter solnedgång till en timme före soluppgång (CEN 2014, Neilson & Perry 1990, Helfman 1993, Fréon et al. 1996, Huse & Ona 1996, Fréon & Misund 1999, Axenrot et al. 2004). Om man är osäker på bästa tidpunkt kan man genomföra undersökningar både dag- och nattetid och jämföra resultaten (CEN 2014). Studier har också visat att det oftast inte är lämpligt att blanda data från dag och natt. Vid beståndsskattning bör gryning och skymning undvikas då fisksamhället ofta struktureras om. Vid val av lämplig tidpunkt på året måste även väga in säsongsvisa, biologiska faktorer som

- Annorlunda beteende i samband med lekperiod
- Anpassning till årstider – temperatur, ljus
- Vandrings, t.ex. hos diadroma arter som lax, öring och ål.

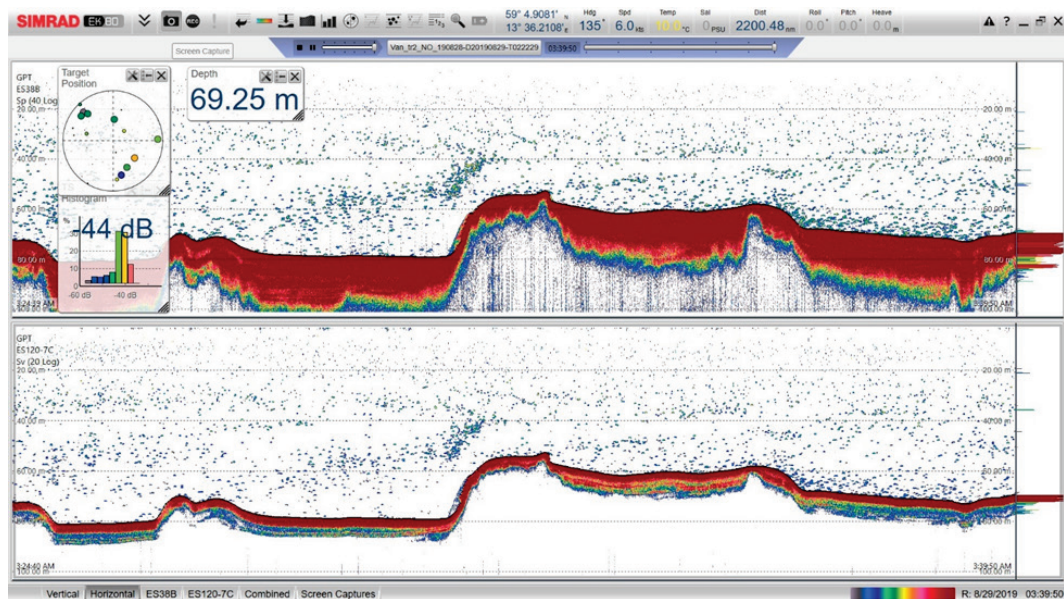
Upprepade undersökningar ska genomföras under så likartade förhållanden som möjligt för att resultaten vara jämförbara. I svenska sjöar bör särskilt uppmärksammas att vattnet vanligen är temperaturskiktat från juni-juli till höst,

vilket påverkar struktureringen av fiskesamhället och därmed resultaten från akustisk övervakning.

### 3.2.3. Datainsamling

Övervakning och skattning av fiskbestånd i Sveriges stora sjöar med hjälp av hydroakustik har i huvudsak utvecklats vid och genomförts av Sötvattenslaboratoriet i Drottningholm, där Olof Enderlein i slutet av 1980-talet började undersöka vad som skulle krävas för en övervakning av pelagialen (det öppna vattnet) i de stora sjöarna. Nätprovfisken genomfördes men fungerade inte som metodik i stora, öppna och djupa vatten. Försök med partrålning från mindre båtar fungerade inte heller säkert och heltäckande. Dåvarande Fiskeriverket (som Sötvattenslaboratoriet hörde till fram till nedläggningen juli 2011) tillhandahöll då ett fartyg med möjligheter till trålning – U/F Ancylus – som även kunde slussas till Vänern och Vättern för undersökningar. Från 2008 används U/F Asterix (internetreferens 3) då Fiskeriverket ersatte U/F Ancylus med fartyg som var för stora att slussa upptill Vättern och för kostsamma att transportera via Öresund för undersökningarna i Mälaren. U/F Asterix är möjlig att transportera på trailer och på så sätt har fler stora sjöar kunnat undersökas med denna metodik, som t.ex. Storsjön (Jämtland) och Siljan.

På U/F Asterix samlas hydroakustiska data in med 38 och 120 kHz (ekolod Simrad EK80). Data sparas löpande på ansluten dator och säkerhetskopieras dagligen under fältarbete. De data som spelas in följs även i realtid på skärm via s.k. ekogram för att man ska veta att allt fungerar och hur det ser ut med djup, bottenförhållanden, fiskmängder, utbredning osv. Med olika tillval i programvaran för ekolodet kan man även följa fiskars position i ljudkonen, akustisk storleksfördelning mm (Figur 6).

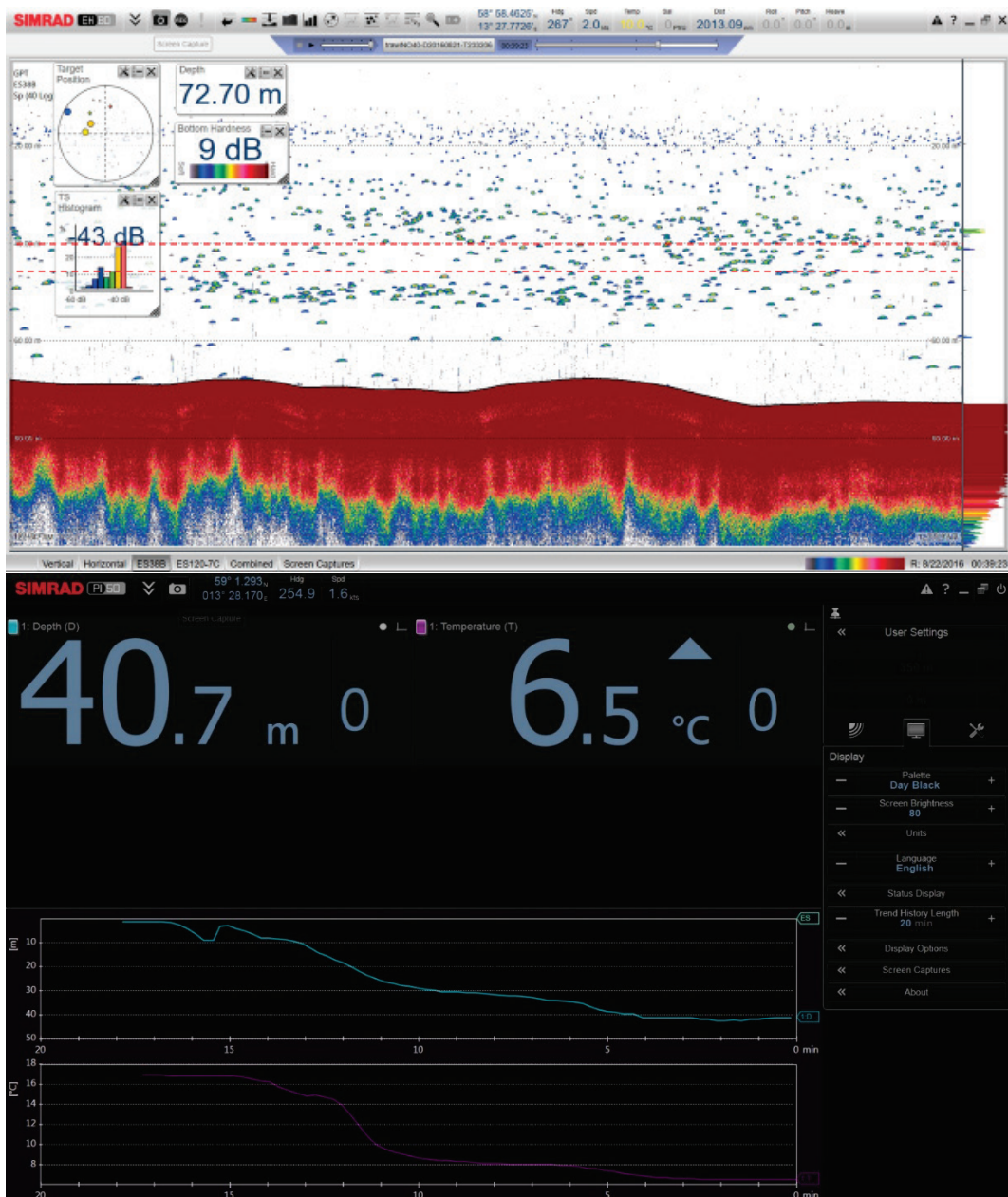


Figur 6. Ekogram – 38 kHz (övre) och 120 kHz (undre) – från norra Värmlandssjön (Vänern) 2019. I det övre ekogrammet är tillagt visning av aktuellt djup (dvs. djupet i ekogrammets högra kant) samt storleksfördelning och position i ljudkonen för godkända, enskilda ekon (från ekolod Simrad EK80).

Sjöarna har delats in i delområden utifrån bottenprofil eller andra fysiska faktorer. Hydroakustiska data spelas in längs transekter med tillräcklig täckning för respektive område. Den sammanlagda årliga distansen längs transekter i exempelvis Vänern är ca 300 km och avser täcka in Vänerns öppna vatten som utgör ca 75 % av sjöns yta (Figur 4 och 5). För god kvalitet på inspelade hydroakustiska data bör båtens hastighet inte vara för hög (CEN 2014). I stora sjöarna körs transekterna med 6 knop, motsvarande ca. 11 km/t. Det innebär för t.ex. Vänern ca 30 timmars årlig hydroakustisk övervakning som utförs under dygnets mörka timmar i augusti/september.

I samband med ekolodningen genomförs regelbundna, korta tråldrag i varje delområde för att kunna tillskriva hydroakustiska data biologisk information om art- och storlekssammansättning (eng. *ground truth*). Eftersom hydroakustiska data registreras och analyseras från strax under ytan till strax ovanför botten försöker vi tråla på alla relevanta djup. Med undantag för Hjälmaren är de stora sjöarna vid tiden för undersökningarna temperaturskiktade vilket påverkar fiskesamhällets struktur. Därför trålas flera djup med olika vattentemperatur – dels det varma vattnet nära ytan och vid språngskiktet (brytpunkten mellan varm och kallt vatten), och dels i det kalla vattnet under språngskiktet. I stora sjöar som Vänern och Vättern utgörs den största vattenvolymen av kallt vatten under språngskiktet varför fler tråldrag genomförs i denna del (Figur 7).





Figur 7. Ekogram (övre; Simrad EK80 38 kHz) från tråldrag 40-45 m (röda streckade linjer) med realtidsmätning av tråldjup och temperatur (undre; Simrad PI50-sonar fästad på trålen övertern). Vattentemperatur vid 40 m djup 6,5° (C). Från ca 20 m djup sjunker temperaturen snabbt till under 10° vilket markerar språngskiktet, dvs. gränsen mellan varm och kallt vatten (sommar och tidig höst). En del fiskarter – som i detta fall siklöja - vistas ogärna i det varmare vattnet över språngskiktet. Tråldrag från Värmlandssjön (Vänern) 2016.

Tråldragen ska ge representativ biologisk information för att tillskriva hydroakustiska data art- och storlekssammansättningar. Tråldragen varar ca. 20 minuter vilket motsvarar en sträcka på ca 1,5 km. De korta tråldragen minskar dock möjligheterna att fånga mindre vanliga arter i tillräckliga mängder för beståndsskattning av dessa.

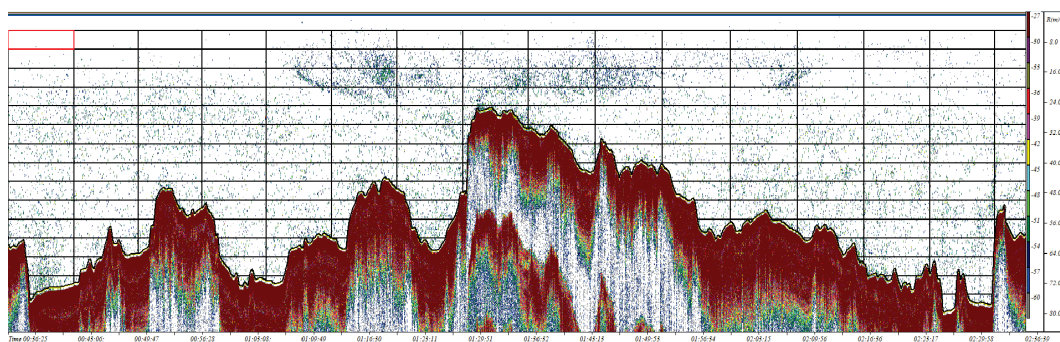
Fångsten vid varje tråldrag sorteras upp i de olika förekommande arterna och vikten för respektive art registreras. För arter som fångas i stor mängd, som t.ex. nors (*Osmerus eperlanus*), siklöja (*Coregonus albula*) och storspigg (*Gasterosteus aculeatus*), tas ett slumpvist urval ut om 200 individer per delområde för individuell mätning och vägning. Av dessa tas 70 individer ut för dissektion och åldersbestämning. Åldersbestämningen sker för flertalet arter genom att avläsa åldersringar på otoliter (fiskens hörsel- och balansorgan – motsvarande organ finns även hos t.ex. människan i örat). För övriga arter mäts individer till längd och vikt.

I varje delområde mäts även vattentemperatur från yta till botten, s.k. djupprofil.

### 3.2.4. Databearbetning och analys

För bearbetning och analys av hydroakustiska data behövs särskild programvara och det finns några olika att välja bland. Med hydroakustiska data i form av den totala reflekterade energin, och en hydroakustisk storleksfördelning baserad på godkända ekon, beräknas en hydroakustisk fisktäthet per hektar uppdelad i olika storleksgrupper (Simmonds & MacLennan 2005, CEN 2014). Möjligheten att beräkna fisktäthet på detta sätt är en viktig skillnad mot provfisken med nät eller trål där resultatet blir ”fångst per ansträngning” (eng. *Catch per Unit Effort*, CPUE).

För att kunna beräkna medelvärden och variation längs transekter, i delområden och en sjö, delas transekterna upp i flera segment (eng. *Elementary Distance Sampling Units*, EDSU) Dessa bör vara korta nog att beskriva skillnader i fisktäthet, men samtidigt tillräckligt långa för att undvika autokorrelation mellan datapunkterna (CEN 2014). För god vertikal upplösning av reflekterade ekon delas data upp i 5 m djuplager. På så sätt delas hydroakustiska data upp i ”celler” för vidare analys (Figur 8).

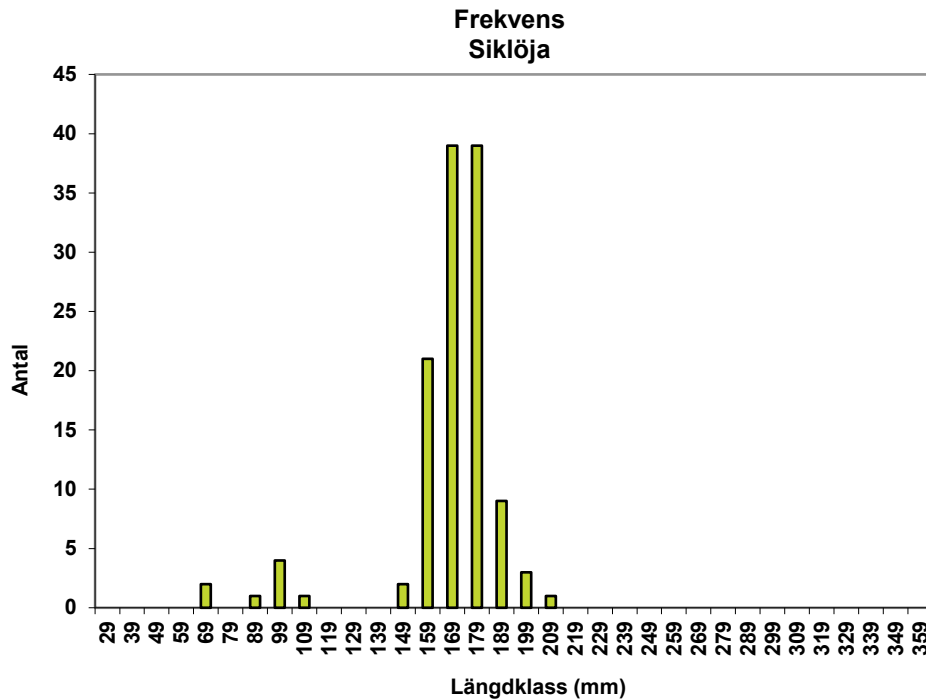


Figur 8. Ekogram av en hydroakustisk transekt från norra Värmlandssjön (Vänern) 2019 uppdelad i celler för att väga in data från tråldrag på olika djup i samma område och vidare analys (Sonar5-Pro, Balk et al 2019).

Den beräknade hydroakustiska fisktätheten ger ingen information om hur många fiskar som finns av en viss art eller vilka arter de små, mellanstora eller stora fiskarna består av. Det är här som informationen från tråldragen vägs in.

Hur man väger in trålresultat i hydroakustiska data för vetenskapliga ändamål är förstås inte något vi funderat över bara i Sverige utan har varit föremål för analys, främst i marina studier, under flera decennier (för sötvatten t.ex. Yule et al. 2007). Åren 2010 och 2011 genomfördes ett par internationella möten med deltagare från Nordamerika och Europa som använder hydroakustik i sötvatten och som behöver väga in biologiska data - från trålning, nätprovfisken eller provfisken med not. Resultat från olika metoder jämfördes med varandra och med resultat baserat på respektive användares metoder från tidigare år. Mot denna bakgrund har därför de senaste tio åren nedan beskrivna metod använts för de stora sjöarna i Sverige som gjort det möjligt att jämföra med tidigare års resultat men samtidigt utveckla metodiken till att ge bättre mått på biomassa samt även skatta variation i resultaten.

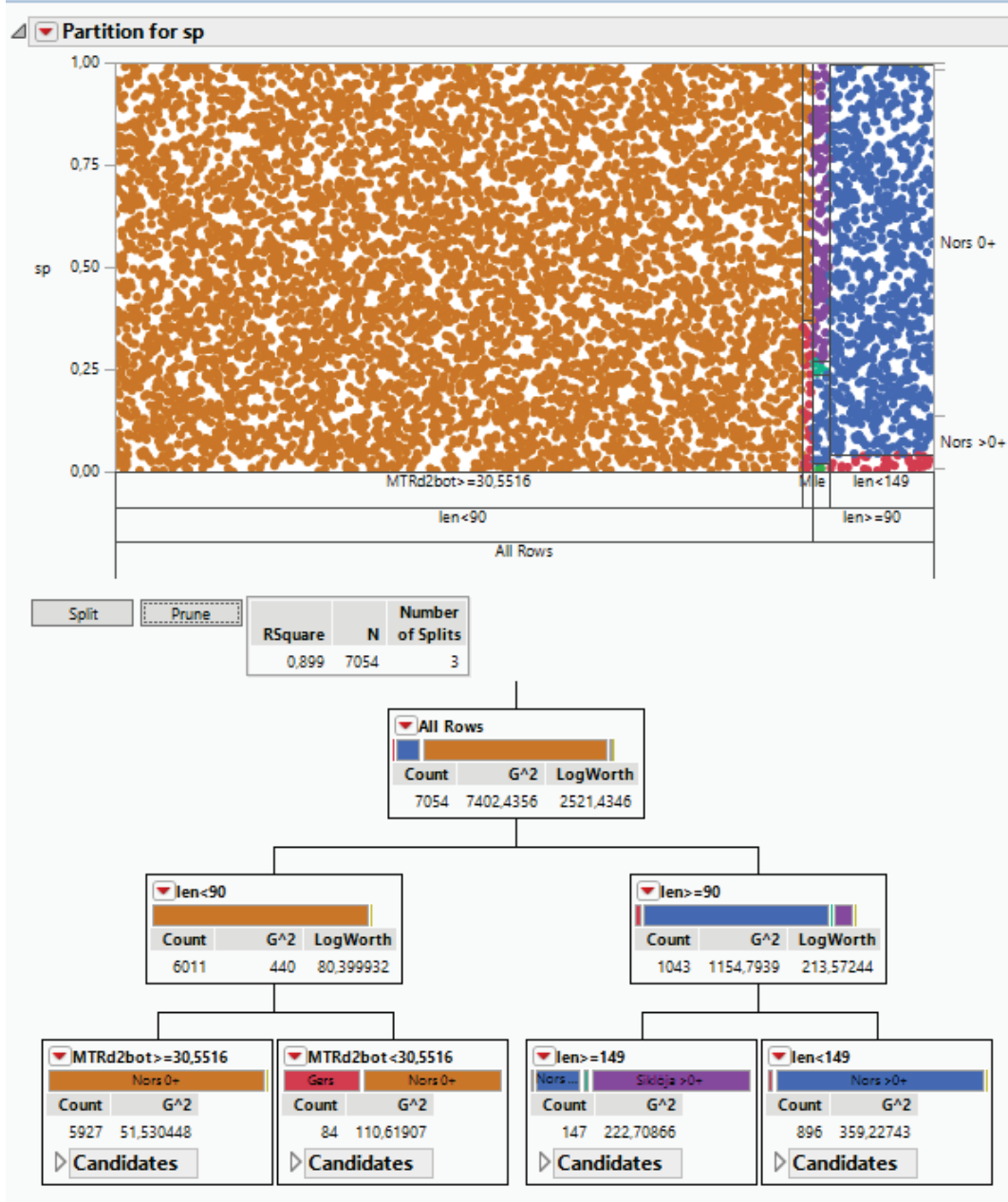
Fångsterna i tråldragen sorteras på art och individerna mäts till längd. För arter med stort antal individer i fångsten mäts ett slumpvist urval som sedan räknas upp med den totala fångstvikten för arten. För en del arter, som t.ex. nors, siklöja och gös (*Sander lucioperca*), är det möjligt att dela upp arterna i årsungar (0+) samt ettåriga och äldre individer (>0+; Figur 9). Uppdelningen baseras på kunskap från tidigare gjorda åldersbestämningar. Avgränsningen (i mm) mellan årsungar och ettåriga individer kan variera något från år till år och skiljer ibland mellan de olika sjöarna. Därför kontrolleras storleksfördelningen i tråldragen årligen innan man bestämmer en sådan avgränsning.



*Figur 9. Storleksfördelning av siklöja vid tråldrag i norra Värmlandssjön (Vänern) 2019. Individer upp till 110 mm är årsyngel och resterande, från 140 mm och större, är ettåriga och äldre siklöjor. Längd 29 mm omfattar längdklassen 20-29 mm osv.*

Fångsterna från tråldragen i ett delområde eller fjärd (Mälaren) slås samman och kompletteras med geografisk position (latitud, longitud), tråldjup, bottendjup, art och individuell längd och vikt. För att hitta lämplig uppdelning av tråldata från ett delområde eller fjärd i arter, årsungar respektive äldre inom en art, samt storlekar, används modellering med s.k. beslutsträd (Figur 10; Yule et al. 2013). Denna uppdelning beräknas till proportioner av arter och storlekar. Exempelvis i norra Värmlandssjön (Vänern) 2019 var proportionen av fiskarter och storlekar uppdelade både på längd (len) och för fiskar mindre än 90 mm längd i förekomst relativt djup (MTRd2bot).

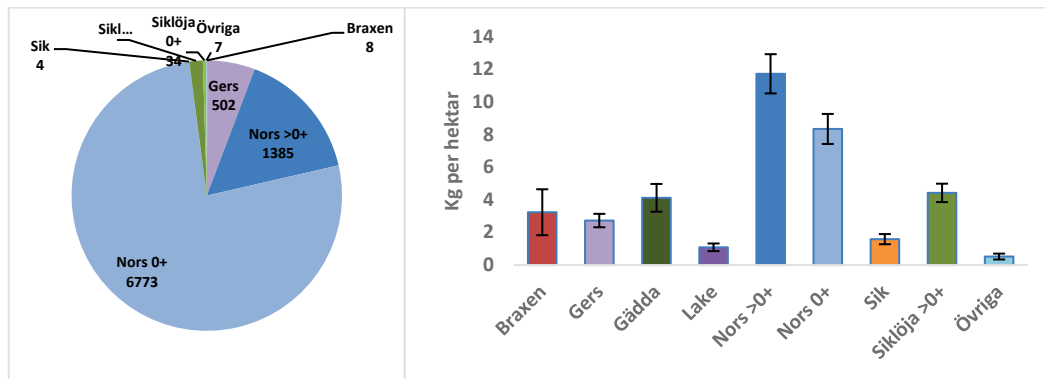




Figur 10. Tråldata delas upp i arter och storlekar med modellering med hjälp av s.k. beslutsträd. Utöver de namngivna arterna fångades även mindre mängder sik och lake. Data från trålning i norra Värmlandssjön (Vänern) 2019.

För att vägas in i hydroakustiska data måste storleksgrupper (längd i mm) omvandlas till decibel (dB) som strukturerar storleksfördelningen i hydroakustiska data (Ekv. 2; CEN 2014). I exemplet ovan motsvaras på så sätt storleksgruppen 90-148 mm av -45 till -42 dB.

Det slutliga resultatet över antal fiskar och fiskbiomassa (per vald ytenhet) i ett delområde, en fjärd eller en sjö beräknas och sammanställs från artproportioner och storleksfördelning i varje ”cell” (Figur 8 och 11).



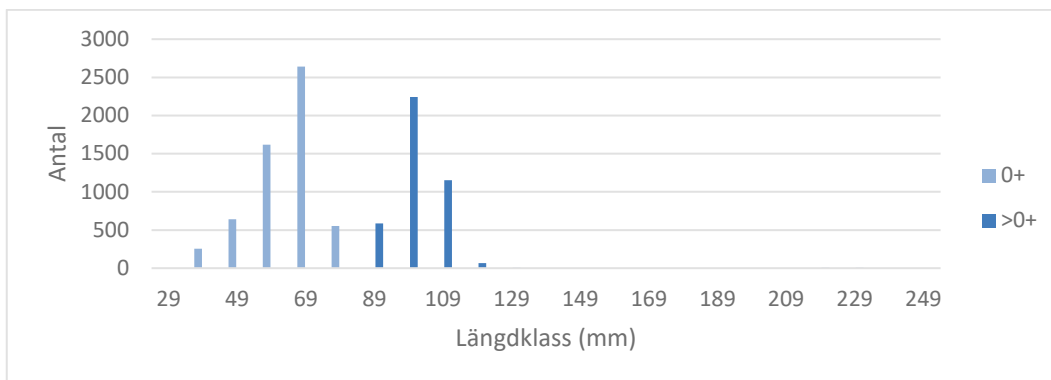
Figur 11. Täthet och biomassa av pelagisk fisk i Vänern 2019 (antal respektive kg per hektar). I Övriga har arter med enstaka individer respektive låg total vikt lagts samman.

### 3.2.5. Resultat och användning

Ett av de viktigaste bidragen från den årliga övervakningen av de pelagiska bestånden är att på uppdrag av HaV ge underlag till en ekosystembaserad fiskförvaltning genom att över tid följa beståndsutvecklingen för enskilda arter och eventuella förändringar i fisksamhällen och miljö. För kommersiellt fiskade arter, som t.ex. siklöja, sik och gös, bidrar den årliga övervakningen även med underlag till modellering och för biologisk rådgivning av SLU till HaV's förvaltning, t.ex. i publikationen *Fisk- och skaldjursbestånd i hav och sötvatten* (internetreferens 4).

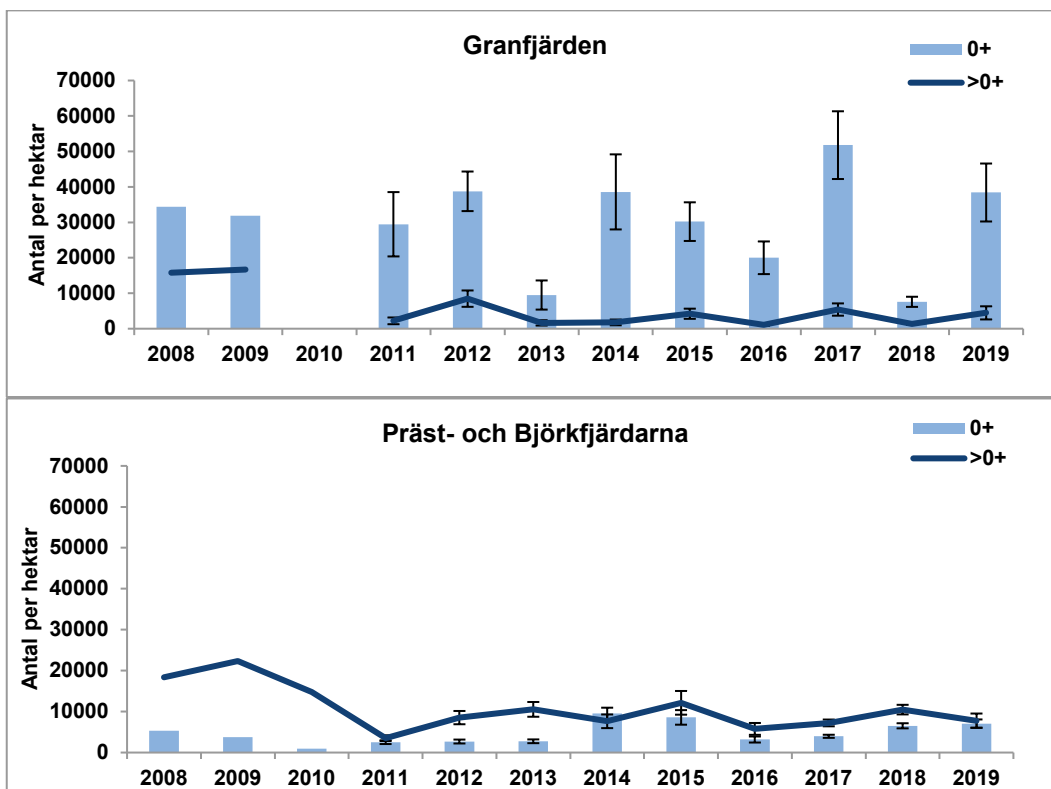
Även Vänerns vattenvårdsförbund och Vätternvårdsförbundet bidrar med medel då resultaten från övervakningen av fiskbestånden kompletterar den miljöövervakning förbunden samordnar. Rapportering sker årligen till HaV och vattenvårdsförbunden.

En del av de arter som redovisas från övervakningen är bytesfiskar som saknar kommersiellt intresse men som är viktiga kuggar i sjöarnas ekosystem. Detta gäller t.ex. nors, som till antal är den vanligaste fisken i de stora sjöarnas pelagial (Figur 10), och storspigg som är mycket vanlig framför allt i Vättern. I augusti – september utgör små bytesfiskar ofta 80-90 % av antalet fiskar i öppet vatten, men det stora årliga överskottet av årsyngel blir till största delen föda för andra fiskar. Att vara den vanligaste fisken till antal innebär dock inte alltid att man är lika dominerande vad gäller fiskbiomassa – det går ju tusentals små norsar eller storspiggar på en vuxen rovfisk som gös, lax eller röding (se t.ex. Figur 10). Nors är en av de arter där årsyngel ofta kan urskiljas i storleksfördelningen redan vid fångsten (Figur 12).

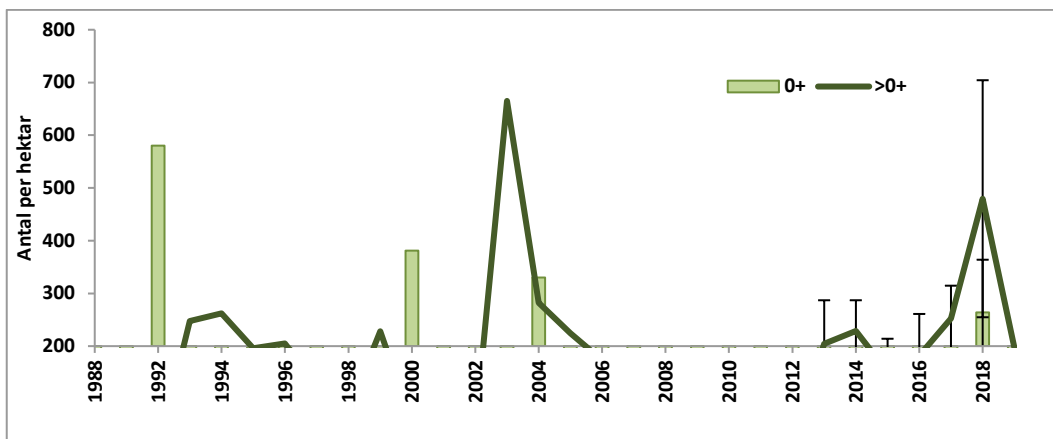


Figur 12. Storleksfördelning för nors (årsyngel 0+ och äldre >0+) från tråldrag i Vättern (september 2016). Åldersbestämning med hjälp av otoliter har visat att årsyngel av nors i de stora sjöarna vanligen är upp till 80 mm i september.

När data från trålningen vägs in i hydroakustiska data kan även olika områdens betydelse för rekrytering bedömas (Figur 13). Resultaten ger även kunskap om hur rekrytering kan variera över tid (Figur 14).



Figur 13. Nors - årsyngel (0+) och ettåriga och äldre (>0+) – förekomst och fördelning i några fjärdar i Mälaren med olika betydelse för rekryteringen. Tidsserier baserade på hydroakustiska data och tråldrag i september.



Figur 14. Täthet av siklöja i Vättern skattad med hjälp hydroakustik och trålning. De noterade starka årsklasserna av årsyngel (0+) har kunnat bekräftas vid senare åldersbestämningar. Ettåriga och äldre siklöjor anges som >0+.

Med hjälp av data från hydroakustik och trålning har norsbeståndens status i de stora sjöarna nyligen studerats (Axenrot 2018). Nors, som egentligen är en kallvattenart, visar stor variation i förekomst, storlek, ålder och utveckling mellan de stora sjöarna beroende på de livsvillkor som erbjuds. I Vätern blir de största norsarna över 30 cm och är då fiskätande rovfisk (s.k. slom). Flertalet vuxna norsar är dock ca. 11-15 cm och livnär sig huvudsakligen på kräftdjur. I sjöar där livsvillkoren är begränsande för en kallvattenart blir norsen sällan över 10-11 cm (Figur 15).



Figur 15. Nors visar stor variation inom och mellan de stora sjöarna utifrån gällande livsvillkor. Den minsta fisken representerar storleken på årsyngel vid tiden för undersökningarna (augusti/september).

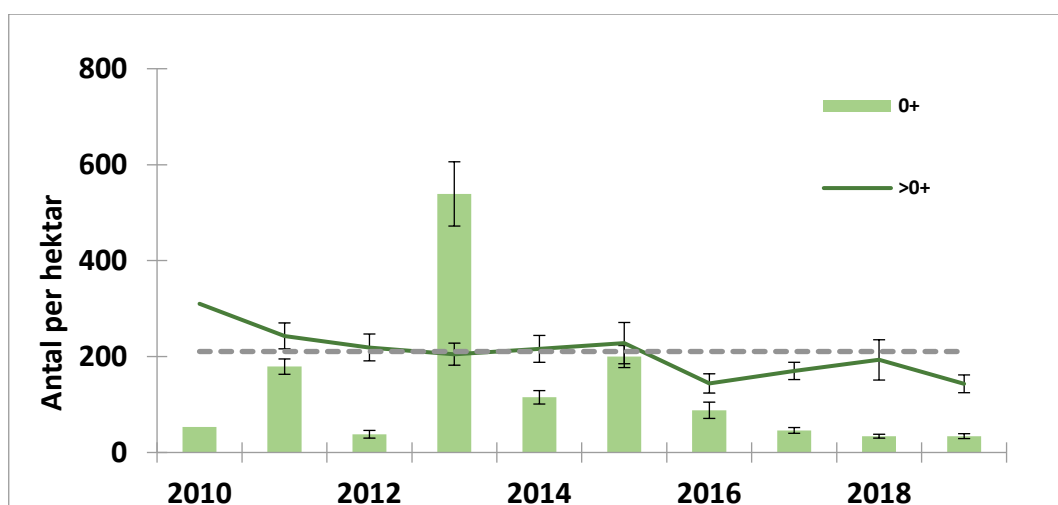
I Hjälmarén, där norsen är den viktigaste födan för det kommersiellt viktiga gösbeståndet, visar undersökningarna att norsbeståndet utöver årsyngel består av endast 1-2 åldersklasser, dvs. beståndet är känsligt för störningar enskilda år. Den varma sommaren 2018 slog ut nästan hela rekryteringen det året.

Siklöjan (Figur 16) är viktig både som bytesfisk och i det kommersiella yrkesfisket, sistnämnda framför allt i Vänern numera.



Figur 16. Siklöjor från tråldrag i Vänern. Fiskarna mäts, vägs och åldersbestäms för att tillsammans med hydroakustiska data ge underlag till bedömning av rekrytering och beståndsutveckling.

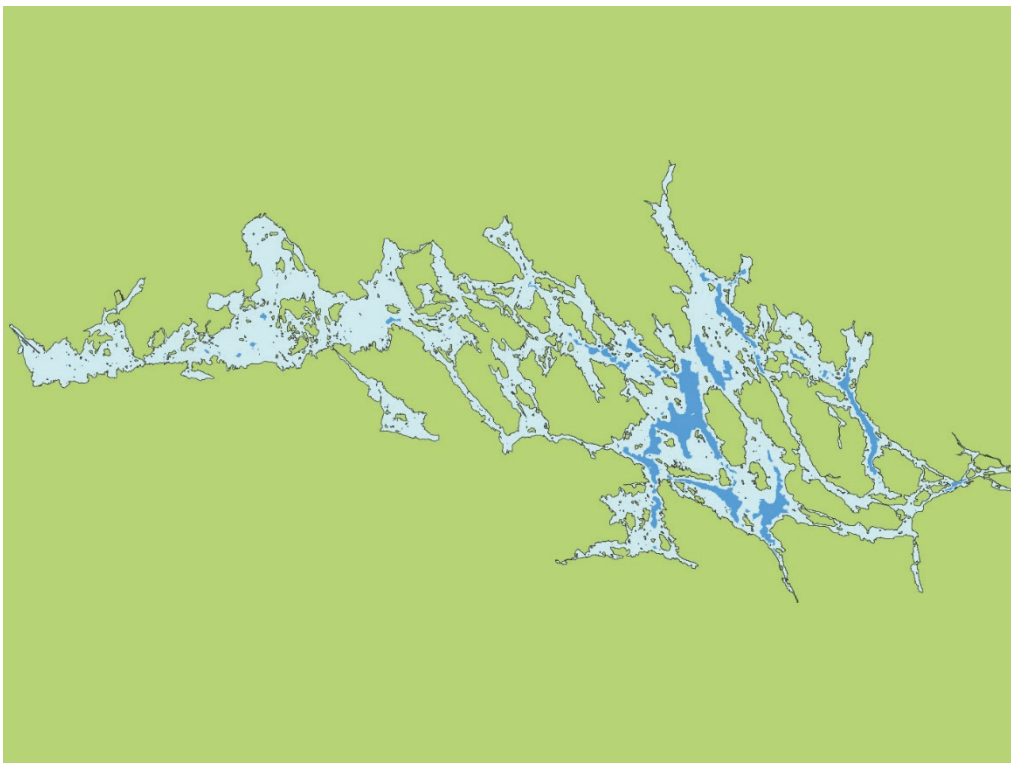
Beståndsutvecklingen för siklöja följs årligen i Vänern, Vättern och Mälaren (Figur 14 och 17 – exempel från Vättern respektive Vänern) med hjälp av hydroakustik och trålning och ser ganska olika ut i de tre sjöarna, vilket även avspeglar sig i de biologiska råd som SLU Akvatiska resurser ger för siklöjebestånden i dessa sjöar (Internetreferens 4).



Figur 17. Rekrytering (0+) och beståndsutveckling (ettåriga och äldre, >0+) för siklöja – exempel från Vänern 2010-19 baserat på hydroakustiska data och provtrålning.

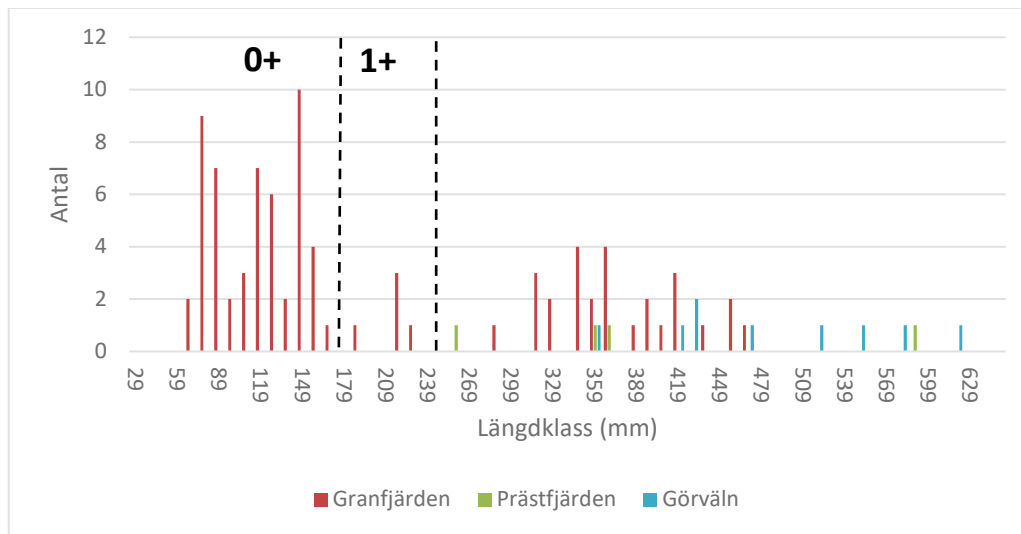


Dessa data är även en del av underlaget för det kommersiellt fiskade siklöjebeståndet i Vänern vid modellering för att bedöma beståndsstatus, dödlighet av fiske mm som underlag till fiskförvaltningen (Internetreferens 4). Siklöjan leker på senhösten men ynglen kläcks fram först på våren varför klimatfaktorer har misstänkts ligga bakom de stora variationerna i årsklasstyrka som noterats för siklöja (Nyberg m fl. 2001, Sandström m fl. 2014). Studier har visat även visat att födokonkurrens spelar roll för rekryteringen, särskilt i mer näringsfattiga sjöar som t.ex. Vättern (Axenrot & Degerman 2016). Siklöja livnar sig i alla storleks- och åldersstadier på djurplankton varför konkurrens om födan är stor även inom arten. Liksom nors är siklöja också en kallvattenart och under tiden då vattnet är temperaturskiktat uppehåller sig vuxna siklöjor nästan uteslutande i det kalla vattnet under språngskiktet. I Mälaren har hydroakustiska undersökningar med korta provtrådrag visat att i princip hela beståndet av vuxen siklöja (dvs. 1-åringar och äldre) under denna period får tränga ihop sig på några få områden med tillräckliga djup för att hålla kallt vatten (Figur 18). Med stöd av denna kunskap besöktes alla djupa områden i Mälaren år 2011 och det totala beståndet av siklöja (dvs. utöver årsungar) kunde beräknas till 736 ton. Även för siklöja kan årsyngel urskiljas i storleksfördelningen redan vid fångsten och årsrekryteringen kan på så sätt bedömas direkt (Figur 9).



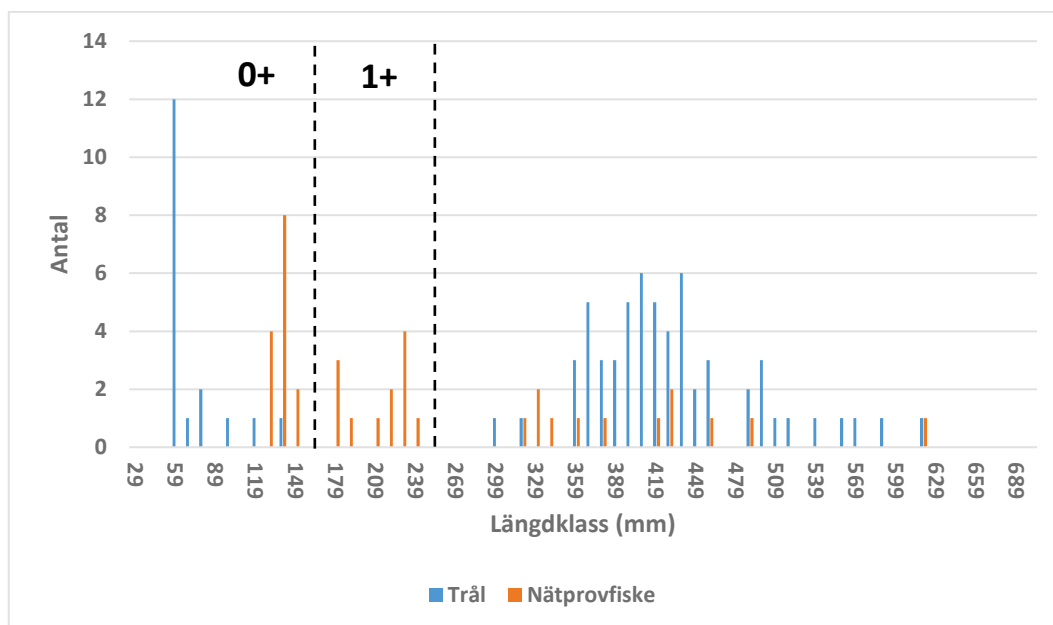
*Figur 18. Exempel på områden i Mälaren med tillräckligt djup för att hålla kallt vatten som föredras av siklöja (ettåriga och äldre) då sjön är temperaturskiktad (stratifierad) juli – oktober.*

För gös är det framför allt i Mälaren som data från hydroakustik och trålning har använts som en del av underlaget för förvaltningen. Från de västra delarna av Mälaren, som är mer näringsrika, grunda och varma, noteras uppväxande årsklasser av gös medan det i de östra delarna registreras huvudsaklig äldre och större gösar (Figur 19). I Ekoln, som också undersöks årligen, visar motsvarande resultat att denna del av Mälaren fungerar som en separat sjö med eget gösbestånd bestående av både uppväxande och vuxen gös. Detta antagande har stärkts av genetiska resultat (Dannewitz m fl. 2010).



Figur 19. Storleksfördelning av gös från tråldrag i Granfjärden, Prästfjärden och Görväln (Mälaren) i september 2019. 0+ och 1+ representerar årsyngel respektive ettåriga individer (indelning baserad på åldersbestämda gösar från tråldrag i Mälaren).

Ofta visar det sig att resultat från både hydroakustik/trålning och nätprovfiske behövs för att beskriva hela fiskesamhället och dess utveckling i en sjö. Dels är en del arters uppehållsplatser så specifika att de bedöms bäst genom att använda en viss metod (Beier m fl. 2015), och dels kan en art under sin tillväxt och utvecklingshistoria variera uppehållsplatser (Axenrot m fl. 2013, Andersson m fl. 2015). Figur 20 visar exempel på sistnämnda för gös i Hjälmmaren där ett-åriga gösar - på grund av tillfälligt byte av uppväxtmiljö under sin utveckling - saknades i tråldata men fångades upp vid nätprovfiske vid samma tid. Det omvända förhållandet gällde för gösens årsungar som istället fångades upp av hydroakustik/trålning. Detta avspeglas även i slutsatser om beståndsutveckling vilket visar vikten av breda kunskaper vid datainsamling, bearbetning av data och tolkning av resultat.



**Figur 20.** Storleksfördelning av gös fångad vid provfisken med trål respektive nät i Hjälmarén 2019. 0+ och 1+ representerar årsyngel respektive ettåriga individer (indelning baserad på åldersbestämda gösar från tråldrag i Hjälmarén).

### 3.2.6. Speciella tillämpningar

Mobil hydroakustisk teknik används för många andra ändamål som bottenkartering (djup och hårdhet), kartläggning av andra organismer än fisk som t.ex. pungräkor (*Mysis relicta*) och djurplankton (Axenrot m fl. 2009, Ragnarsson m fl. 2015) komplettering till elprovfiske (Bergquist m fl. 2007), koppling fisk och primärproduktion (Sandström m fl. 2016), samarbeten med lokala förvaltningar (Sandström m fl. 2020).



## Referenser

- Aglen, A. 1983. Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied. In O. Nakken and S.C. Venema (Eds.), Fisheries Acoustics Symposium, Bergen, Norway, 21 to 24 June 1982. pp. 293-298. FAO Fish. Rep. pp. 300, 331.
- Andersson, M., Degerman, E., Persson, J. and H. Ragnarsson Stabo. 2015. Movements, recapture rate and length increment of tagged pikeperch (*Sander lucioperca*) – a basis for management in large lakes. Fisheries management and ecology 22:450-457.
- Axenrot, T., Didrikas, T., Danielsson, C., and Hansson, S. 2004. Diel patterns in pelagic fish behaviour and distribution observed from a stationary, bottom-mounted, and upward-facing transducer. ICES Journal of Marine Science, 61: 1100-1104.
- Axenrot, T., Ogonowski, M., Sandström, A., and Didrikas, T. 2009. Multifrequency discrimination of fish and mysids. – ICES Journal of Marine Science, 66: 1106–1110.
- Axenrot, T., Andersson, M., Degerman, E., 2013. Fisksamhället i Storsjön, Jämtland. Undersökningar med ekolodning, trålning och nätprovfiske år 2011. Aqua reports 2013:6, Sveriges lantbruksuniversitet, Drottningholm. 35 s.
- Axenrot, T., and Degerman, E. 2016. Year-class strength, fitness and recruitment cycles in vendace (*Coregonus albula*). Fisheries Research 173: 61-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2015.03.017>
- Axenrot, T. 2018. Nors – beståndsstatus i Stora sjöarna. Rapport till Havs- och vattenmyndigheten, Dnr: SLU.aqua.2018.5.2-84.
- Balk et al. 2019. Sonar4 and Sonar5-Pro post processing systems, Operator manual version 606.15, 489p.
- Beier, U., Axenrot, T., och Bergek, S. 2015. Fisk och fiske i Mälaren. Aqua reports 2015:18 Supplement. Sveriges lantbruksuniversitet, Drottningholm. 62 s.
- Bergquist, B., Axenrot, T., Carlstein, M., och Degerman, E. 2007. Fiskundersökningar i större vattendrag. Utveckling av kvantitativ metodik med båtelfiske och hydroakustiska metoder – ett pilotprojekt. Fiskeriverket informerar, Finfo 2007:10. ISSN 1404-8590.
- [CEN] Comité Européen de Normalisation (European Committee for Standardization). 2014. Water quality – Guidance on the estimation of fish abundance with mobile hydroacoustic methods. EN 15910.
- Dannewitz, J., Palm, S., och Presteggaard, T. 2010. Långsiktigt hållbar gösförvaltning. Genetiska data ger ny information om bestånd och effekter av utsättningar. Finfo 2010:3, Fiskeriverket. ISSN 1404-8590.

- Fabi, G., and Sala, A. 2002. An assessment of biomass and diel activity of fish at an artificial reef (Adriatic Sea) using a stationary hydroacoustic technique. *ICES Journal of Marine Science*, 59: 411-420.
- Foote, K. G. 1987. Fish target strengths for use in echo integrator surveys. *Journal of the Acoustic Society of America*, 82: 981-987.
- Fréon, P. and O. A. Misund. 1999. *Dynamics of Pelagic Fish Distribution and Behaviour: Effects on Fisheries and Stock Assessment*. Fishing News Books. Blackwell Science Ltd.
- Fréon, P., Gerlotto, F., and Soria, M. 1996. Diel variability of school structure with special reference to transition periods. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 459-464.
- Helfman, G. S. 1993. Fish behaviour by day, night and twilight. In: *Behaviour of Teleost Fishes*, pp. 479-512. Ed. by T. J. Pitcher. Chapman and Hall, London. 715 pp.
- Helfman, G. S., Colette, B. B., Facey, D. E., and Bowen, B. W. 2009. *The Diversity of Fish. Biology, Evolution, and Ecology*. Wiley-Blackwell, 720 pp.
- Huse, I., and Korneliussen, R. 2000. Diel variation in acoustic density measurements of overwintering herring (*Clupea harengus* L.). *ICES Journal of Marine Science*, 57: 903-910.
- Huse, I., and Ona, E. 1996. Tilt angle distribution and swimming speed of overwintering Norwegian spring spawning herring. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 863-873.
- [ICRR] ICES Cooperative Research Report (Rapport des Recherches Collectives). 2015. Calibration of acoustic instruments. Report No. 326.
- Love, R.H., 1971. Dorsal aspect target strength of an individual fish. *J. Acoust. Soc. Am.* 49, 816–823.
- Misund, O. A. 1997. Underwater acoustics in marine fisheries and fisheries research. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 7: 1-34.
- Neilson, J. D., and Perry, R. I. 1990. Diel vertical migrations of marine fish: an obligate or facultative process? *Advances in Marine Biology*, 26: 115-167.
- Nyberg, P., Degerman, E., Bergstrand E., and Enderlein, O. 2001. Recruitment of pelagic fish in an unstable climate: studies in Sweden's four largest lakes. *AMBIO* 30(8), 559-564.
- Parker-Stetter, S. L., Rudstam, L. G., Sullivan, P. J., and Warner, D. M.. 2009. *Standard Operating Procedures for Fisheries Acoustics in the Great Lakes*. Great Lakes Fishery Commission. Special Publication 09-01.
- Ragnarsson Stabo, H., Vrede, T., Axenrot, T., and Sandström, A. 2014. Large zooplankton in Swedish large lakes. *Aquatic Ecosystem Health and Security*, 17(4): 374-381.
- Sandström, A., Ragnarsson Stabo, H., Axenrot, T., and Bergstrand, E. 2014. Has climate variability driven the trends and dynamics in recruitment of pelagic fish species in Swedish Lakes Vänern and Vättern in recent decades? *Aquatic Ecosystem Health and Security*, 17(4): 349-356.
- Sandström, A., Philipson, P., Asp, A., Axenrot, T., Kinnerbäck, A., Ragnarsson-Stabo, H., and Holmgren, K. 2016. Assessing the potential of remote sensing-derived water quality data to explain variations in fish assemblages and to support fish status assessments in large lakes. *Hydrobiologia* 780: 71-84.
- Sandström, A., Norrgård, J., Axenrot, T., Setzer, M. and Jonsson, T. 2020. Getting choosy about whitefish in Lake Vättern. Using participatory

approaches to improve fisheries selectivity. In Collaborative Research in Fisheries. Co-creating Knowledge for Fisheries Governance in Europe. Ed(s) Holm, P., Linke, S., Hadjimichael, M. and Mackinson, S. Mare Publications Series 22, p 43-60. ISSN 2212-6279, ISBN 978-3-030-26784-1.

Simmonds, E. J., and MacLennan, D. N. 2005. Fisheries Acoustics: Theory and Practice. Blackwell Publishing, Oxford. 437 pp.

Sund, O. 1935. Echo sounding in fisheries research, *Nature*, (135), 953.

Yule, D. L., Adams, J. V., Stockwell, J. D., and Gorman, O. T. 2007. Using Multiple Gears to Assess Acoustic Detectability and Biomass of Fish Species in Lake Superior. *North American Journal of Fisheries Management* 27: 106-126.

Yule, D. L., Adams, J. V., Hrabik, T. M., Vinson, M. R., Woiak, Z., and Ahrenstorff, T. D. 2013. Use of classification trees to apportion single echo detections to species: Application to the pelagic fish community of Lake Superior. *Fisheries Research* 140: 123-132.

## Internetreferenser

1. European 3Rs Centres  
<https://ec.europa.eu/jrc/en/eurl/ecvam/knowledge-sharing-3rs/knowledge-networks/eu-3rs-centres>
2. WGFAST  
<https://www.ices.dk/community/groups/Pages/WGFAST.aspx>
3. U/F Asterix  
<https://www.slu.se/institutioner/akvatiska-resurser/kontakt/forskningsinfrastruktur/hyr-fartyget-uf-asterix/>
4. Fisk- och skaldjursbestånd i hav och sötvatten  
<https://www.havochvatten.se/download/18.473751eb16fd38f6a808067d/1591204280348/rapport-2020-03-fisk-skaldjursbestand-2019.pdf>

# Tack

Tack till Sture Hansson, Kerstin Holmgren, Olavi Kaljuste, Martin Ogonowski och Helena Strömberg för konstruktiva synpunkter på manuskriptet.

