



Aqua reports 2025:3

Reduktionsfiske

– en tänkbar åtgärd för att förbättra vattenkvaliteten i Hjälmarén?

Alfred Sandström, Göran Sundblad



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för akvatiska resurser



**Havs
och Vatten
myndigheten**

Denna studie har finansierats av EU LIFE IP Rich Waters och Havs-och vattenmyndigheten, som en aktivitet i Action C11, Internbelastning.

Reduktionsfiske – en tänkbar åtgärd för att förbättra vattenkvaliteten i Hjälmararen?

Removal of fish - a potential management measure to increase water quality in Lake Hjälmararen

Alfred Sandström / <https://orcid.org/0000-0003-2490-4971>,
Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser

Göran Sundblad, <https://orcid.org/0000-0001-8970-9996>,
Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser

Rapportens innehåll har granskats av:

Örjan Östman, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser
Jens Fölster, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för vatten och miljö
Magnus Karlsson, IVL Svenska Miljöinstitutet

Finansiär: Havs- och vattenmyndigheten, Dnr 3205-2023;SLU-ID: SLU.aqua.2023.5.1.-395-.svt
EU LIFE IP Rich Waters Action C11 (LIFE15 IPE SE 015 RICH WATERS)

Rapporten har tagits fram på uppdrag av EU LIFE IP Rich Waters. Rapportförfattarna ansvarar för innehållet och slutsatserna i rapporten. Rapportens innehåll innebär inte något ställningstagande från uppdragsgivarens sida.

Rekommenderad citering: Sandström A, Sundblad G. (2025). Reduktionsfiske – en tänkbar åtgärd för att förbättra vattenkvaliteten i Hjälmararen? (2025) Aqua reports 2025:3. Uppsala: Institutionen för akvatiska resurser.
<https://doi.org/10.54612/a.2tltthivo4p>

Publikationsansvarig: Sara Bergek, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU),
Institutionen för akvatiska resurser

Redaktör: Stefan Larsson, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU),
Institutionen för akvatiska resurser

Utgivare: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser

Utgivningsår: 2025

Utgivningsort: Uppsala

Illustration framsida: Bilden är AI-genererad

Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

Serietitel: Aqua reports

Delnummer i serien: 2025:3

ISBN (elektronisk version): 978-91-8046-604-2

DOI: <https://doi.org/10.54612/a.2tltthivo4p>

Nyckelord: reduktionsfiske, braxen, Hjälmararen, biomanipulation, övergödning

Sammanfattning

Hjälmararen har länge haft problem med övergödning och vattenkvalitet. Enligt vattendirektivet uppnås för närvarande inte kraven för god ekologisk och kemisk status. En metod som föreslagits för att förbättra vattenkvaliteten är att genomföra storskaligt reduktionsfiske. Metoden innebär att man selektivt fiskar bort stora mängder av vissa fiskarter, som mört, braxen och björkna. Reduktionsfiske har visats ge positiva effekter på vattenkvalitet, mätt som siktdjup och klorofyll *a*, främst i små, grunda och kraftigt övergödda sjöar i Danmark och Nederländerna. Det finns flera mekanismer som man tror bidrar till att reduktionsfiske ger effekter på sjöar. De viktigaste är att i) minskad mängd djurplanktonätande fisk gynnar djurplankton som äter växtplankton, vilket ger ett klarare vatten, ii) utfiskningen innebär att den fosfor som finns i fisken (ca 0,8 % av kroppsvikten) tas bort från systemet och iii) vissa karpfiskar, som till exempel braxen, bökar på botten och bidrar till fosforläckage via resuspension.

Föreliggande rapport är ett försök att bedöma risker och förutsättningar för ett eventuellt reduktionsfiske i Hjälmararen. Analysen byggde på en litteraturgenomgång för att identifiera vilka faktorer som är viktiga för utfallet och omfattningen av ett reduktionsfiske. Litteraturgenomgången ställdes i relation till tillgängliga data från tidigare fiskundersökningar i Hjälmararen, nya data insamlade med så kallat båtelfiske samt data från yrkesfisket och åldersanalyser av braxen för att bedöma förutsättningarna i just Hjälmararen.

De viktigaste resultaten var:

- Den totala fiskbiomassan i Hjälmararen varierade mellan miljötyper och djup men uppskattades till minst cirka 3 800 ton, motsvarande minst 79 kg fisk per hektar. Detta är med största sannolikhet en underskattning av den verkliga biomassan eftersom ingen av de provfiskemetoder som använts ger en komplett skattning av den totala biomassan. Över hälften av biomassan utgjordes av karpfisk och braxen var den dominerande karpfisken i samtliga miljötyper och delområden.

- Biomassan braxen skattades också i en så kallad kohortanalys, baserad på tillväxt, storleksfördelning och uttag i fisket samt antaganden om naturlig dödlighet. Det vuxna braxenbeståndets biomassa varierade (beroende på antagande om naturlig dödlighet) mellan 800 och 2 080 ton. Dödligheten via fiske var låg i samtliga analyser.

- Fisketrycket på karpfiskbestånden i Hjälmararen förefaller idag vara lågt. År 2023 rapporterade yrkesfisket en total landning på 66 ton i Hjälmararen, vilket är cirka 3-8 % av den skattade vuxna biomassan. I jämförelse rapporteras årligen landningar på nästan 100 ton braxen i yrkesfisket i Väneren och drygt 2 ton i Mälaren. Åldersanalyserna visade att braxenbeståndet är långsamväxande och att det förekommer individer med mycket hög ålder. Medelåldern i fångsten var 15 år och den äldsta individen var 45 år, vilket indikerar att dödligheten sannolikt är mycket låg.

- Ett reduktionsfiske i Hjälmararen skulle antagligen kräva ett mycket omfattande uttag av fisk, mellan 1 010 ton och 14 500 ton per år beroende på vilka antaganden/rekommendationer man utgår från. Den högre siffran bygger på resultat från en omfattande meta-analys av mindre sjöar och dammar vilken visat att det krävs ett uttag på 300 kg/ha och år för att förbättra siktdjupet med 0,5 meter. Ett så omfattande fiske skulle kräva att man bygger upp en organisation och infrastruktur för reduktionsfiske och omhändertagande av fångsterna.

- Flera faktorer gör det tveksamt att Hjälmararen har de förutsättningar som krävs för att ett reduktionsfiske ska bli framgångsrikt. Effekten av reduktionsfiske har visats minska med ökande sjöstorlek. Hjälmararen är markant större än de största sjöar där reduktionsfiske hittills genomförts och utvärderats. En annan viktig faktor är djupförhållandena. Grunda sjöar, där vegetation kan återkolonisera stora ytor efter ett reduktionsfiske har visats viktigt för ett bra utfall. Hjälmararen har

visserligen större grundområden men andelen sjöyta lämplig för undervattensvegetation är låg i förhållande till de sjöar där man haft framgång med reduktionsfiske. Det finns också andra aspekter som försämrar förutsättningarna: en förhållandevis lång retentionstid, hög internbelastning av fosfor, låg initial näringshalt relativt sjöar med lyckat utfall, förekomst av stora djurplankton och pungräkor som äter mindre djurplankton och riskerar ta över den djurplanktonätande fiskens roll vid ett reduktionsfiske, samt en periodvis hög vind-/våginducerad lergrumling.

Sammantaget är vår bedömning att det saknas evidens för att reduktionsfiske skulle vara framgångsrikt, att ett reduktionsfiske i Hjälmaren skulle behöva vara omfattande och därmed dyrt, att det finns en överhängande risk att man inte uppnår önskat resultat samt att det också finns risker för oväntade och i värsta fall negativa konsekvenser för både fisket och ekosystemet. Särskilt de förväntade effekterna på fisket, med försämrad status för braxen och gös (som gynnas av högre näringshalter), belyser målkonflikten mellan å ena sidan hänsyn till fiskets betydelse, samhällets behov av att hitta vägar till självförsörjande avseende sjömat i händelse av kris och å andra sidan nuvarande mål om förbättrad vattenkvalitet inom vattenförvaltningen. Hur motstridiga mål mellan vatten- och resursförvaltningen ska värderas är en förvaltningsfråga att beakta i det fortsatta arbetet.

Ett alternativ till ett reduktionsfiske är att samhället på olika sätt stöttar ett ökat uttag av karpfisk inom ramen för det befintliga småskaliga fisket i Hjälmaren. Särskilt braxen har på senare år fått allt mer uppmärksamhet som matfisk vilket gör att det numera finns en liten men långsamt ökande efterfrågan på braxen. Ett sådant fiske innebär inte de drastiska uttag som krävs i ett reduktionsfiske. Det kan dock utgöra ett alternativ associerat med mindre risker, lägre kostnader för samhället och i förlängningen sannolikt ett mer hållbart sätt att, genom den landade fångstens fosforinnehåll samt minskad mängd bottenböjande fiskar, bidra till en stegvis fosforreduktion i Hjälmaren.

Även om ett fullskaligt reduktionsfiske inte rekommenderas kan teoribildningen och tankebanorna kring ett potentiellt reduktionsfiske vara en inspiration för hur man kan öka kunskapen om ekosystemen i Hjälmaren och samtidigt förbättra förvaltningen genom att integrera fisken och fiskets betydelse med övrigt vattenmiljöarbete.

Summary

Lake Hjälmaren is a large and relatively productive lake in central Sweden. It has substandard water quality due to problems with eutrophication. According to the Water Framework Directive, the requirements for good ecological and chemical status are currently not being met. One proposed method to improve water quality is large-scale removal of fish. This method involves selectively removing large amounts of certain fish species, such as roach, bream, and silver bream. Removal of fish can have positive effects on water quality, measured as water transparency and chlorophyll *a*, primarily in small, shallow, and heavily eutrophic lakes in Denmark and the Netherlands. Several mechanisms are believed to contribute to the effects of removing fish from lakes. The most important are: i) reduced biomass of zooplankton-eating fish favors zooplankton that eat phytoplankton, resulting in more clear water; ii) removal of fish results in extraction of phosphorus (approximately 0.8% of the body weight) from the system via the landed fish and iii) some cyprinids, such as bream, disturb the sediments and contribute to phosphorous leakage via their foraging of benthic prey.

This report attempts to assess the risks and conditions for removal of fish to improve water quality in Hjälmaren. The analysis was based on a literature review that identified important factors contributing to the potential outcome and necessary extent of the removal. The literature review was compared to available data from previous fish surveys in Hjälmaren, new data collected via boat

electrofishing, and data obtained from small-scale commercial fisheries including age analyses of bream.

The main findings were:

- The total fish biomass in Hjälmaren varied between habitats and depth zones but was estimated at a minimum of about 3,800 tonnes, corresponding to at least 78 kg per hectare. This is most likely an underestimation of the actual biomass because none of the sampling methods used provide a complete estimate of total biomass. More than half of the fish biomass consisted of cyprinids, and common bream was the dominant cyprinid in all habitats and basins.
- Common bream biomass was also estimated using a cohort analysis, based on growth, size distribution, and landings in the fisheries as well as assumptions regarding natural mortality. The biomass of the adult common bream population varied (depending on the assumption of natural mortality) between 800 and 2,080 tonnes. Fishing mortality was low in all analyses.
- The fishing pressure on the cyprinid populations in Hjälmaren appears to be low. In 2023, commercial fishing reported a total landing of common bream of 66 tonnes in Hjälmaren, compared to almost 100 tonnes in Lake Vänern and just over 2 tonnes in Lake Mälaren. Age analyses showed that the common bream population grows slowly and contains individuals of very high age. The average age in the catch was 15 years and the oldest individual was 45 years old, indicating that mortality likely is very low.
- Removal of fish in Hjälmaren would require a very extensive effort, between 1,010 and 14,500 tonnes per year depending on what assumptions and recommendations that are applied. The higher value was derived from an extensive meta-analysis of smaller lakes and ponds that concluded that it was necessary to remove 300 kg fish per ha and year to reach an improvement of water transparency by 0.5 meters. Such an extensive fish removal would require establishing an organization and infrastructure for handling the large catches.

It is doubtful whether Hjälmaren has the necessary conditions for removal of fish to successfully improve water quality. The effect of fish removal on water quality has been shown to decrease with increasing lake size. Hjälmaren is significantly larger than the largest lakes where removal has previously been conducted and evaluated. Another important factor is the depth conditions. Shallow lakes, where vegetation can recolonize large areas following improved water visibility due to removal of fish, have been shown to be more likely to have positive long-term responses in water quality. Hjälmaren has two water bodies that are very shallow, but the proportion of lake area suitable for underwater vegetation is nevertheless relatively low compared to lakes where removal of fish has been successful. There are also other aspects indicating that Hjälmaren does not have suitable prerequisites for removal of fish to successfully improve water quality: a relatively long retention time, high internal phosphorous loading, relatively low pre-removal phosphorous concentrations compared to successful removals, presence of macrozooplankton and mysids which eat zooplankton and risk taking over the role of removed zooplankton-eating fish, and periodic occurrence of wind/wave-induced turbidity.

To summarize, our assessment is that there is insufficient evidence of removal of fish in Hjälmaren to be successful, that a removal fishery would need to be extensive and therefore expensive, that there is a significant risk of not achieving the desired result, and that there are also risks of unexpected and potentially negative consequences for both the fisheries and ecosystem. Such negative effects on fisheries, especially bream and pikeperch (who benefit from higher nutrient concentrations), highlight the conflict between considerations of the importance of fisheries, society's need to find ways to attain self-sufficiency as regards sea food in times of crisis, and the

current goals of water management to improve water quality. How to handle conflicting environmental and resource goals is a management question to consider in future work.

An alternative to removal of fish is to support increased removal of cyprinids within the framework of the existing small-scale fishery in Hjälmaren. Common bream, in particular, has received increased attention as a food fish in recent years, leading to a small but slowly growing demand. Such a fisheries would not accomplish the significant catches required in a fish removal programme but it could be an alternative that is associated with less risk, lower cost, and in the long run, a more sustainable way to contribute to a gradual reduction of phosphorous in Hjälmaren through the continuous extraction of phosphorous via the landed catch.

Although a full-scale fish removal programme is not recommended, the theories and processes associated with this measure can serve as inspiration for enhancing the knowledge about the ecosystem in Hjälmaren and improve governance by integrating the role of fish and fisheries with water quality management.

Innehållsförteckning

1. Introduktion.....	10
1.1. Bakgrund	10
1.2. Syfte.....	15
2. Metod	16
2.1. Litteraturgenomgång	16
2.2. Arealer och djupzoner	16
2.3. Hydroakustik & trålning.....	18
2.4. Nätprovfisken.....	19
2.5. Båtelfiske	20
2.5.1. Design.....	21
2.6. Fritidsfiske.....	22
2.7. Yrkesfiske	22
2.7.1. Kohortanalys	23
3. Resultat.....	24
3.1. Viktiga faktorer enligt litteraturen	24
3.1.1. Svenska och finska exempel	25
3.1.2. Betydelsen av sjöns storlek och djup.....	28
3.1.3. Initial näringshalt	29
3.1.4. Reduktionsfiskets omfattning och varaktighet	29
3.2. Biomassa fisk i Hjälmarén	31
3.2.1. Hydroakustik	31
3.2.2. Nätprovfiske	31
3.2.3. Båtelfiske	32
3.3. Nuvarande uttag	36
3.3.1. Yrkesfiske	36
3.3.2. Fritidsfiske.....	37
3.4. Åldersstruktur och könsmognad hos braxen insamlad från yrkesfisket.....	37
3.4.1. Kohortanalys braxen	38
3.5. Sammanfattning biomassa	40
4. Diskussion.....	42

4.1.	Omfattning, förutsättningar och förväntade effekter	42
4.1.1.	Omfattande utfiskning skulle krävas	42
4.1.2.	Dåliga förutsättningar för att reduktionsfiske ska lyckas.....	44
4.1.3.	Karpfiskarnas status i Hjälmarens och förväntade effekter av ett reduktionsfiske.....	45
4.2.	Målkonflikter & riskbedömning	47
4.2.1.	Näringshalt kontra fiskproduktion	47
4.2.2.	Nollalternativ – inget reduktionsfiske	48
4.2.3.	Påverkan på fisket	48
4.3.	Alternativ till storskaligt reduktionsfiske	50
4.3.	Slutord	51
5.	Tack	52
	Referenser.....	53

1. Introduktion

1.1. Bakgrund

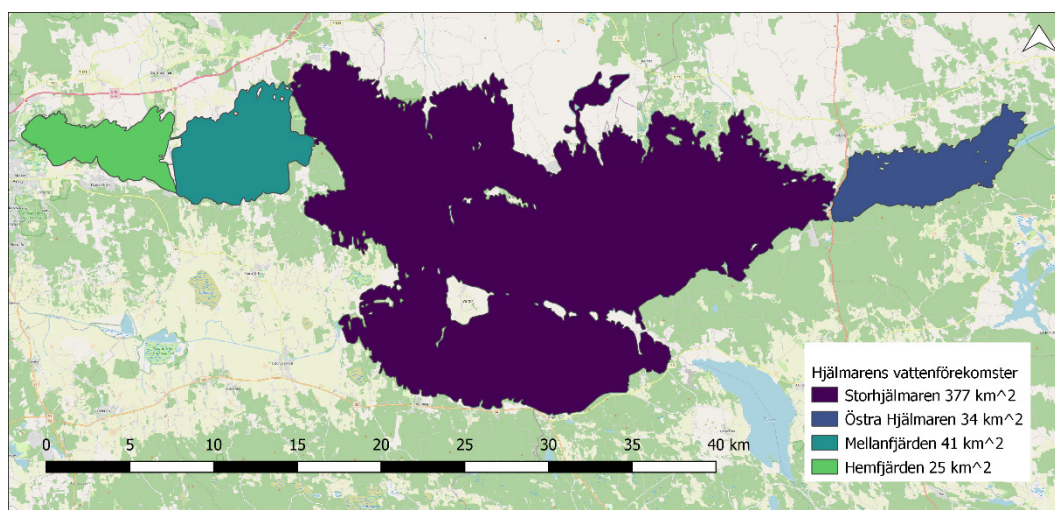
Hjälmaren är en näringsrik slättsjö. Den är Sveriges fjärde största sjö (478 km², Håkansson (1978)¹) och en av de 25 största i Europa. I förhållande till sin storlek är Hjälmaren grund. Maxdjupet är 22 meter och medeldjupet är 6,1 m. Med en medeltillrinning på 27 m³/sekund blir teoretiska omsättningstiden 3,4 år. Hjälmaren har också ett unikt ekosystem med ett antal skyddsvärda fågelkolonier. I Hjälmaren finns fem Natura 2000 områden som ligger direkt i sjön samt ytterligare ett antal i direkt närhet av sjön.

Hjälmaren är ett av landets i särklass viktigaste fiskevatten och är således också klassad som av riksintresse för fisket (Blomqvist & Swahnberg 2020). Det finns ett anrikt, småskaligt och livskraftigt yrkesfiske (totalt 35 licensierade yrkesfiskare). Det finns också ett omfattande fritidsfiske på allmänt och enskilt vatten.

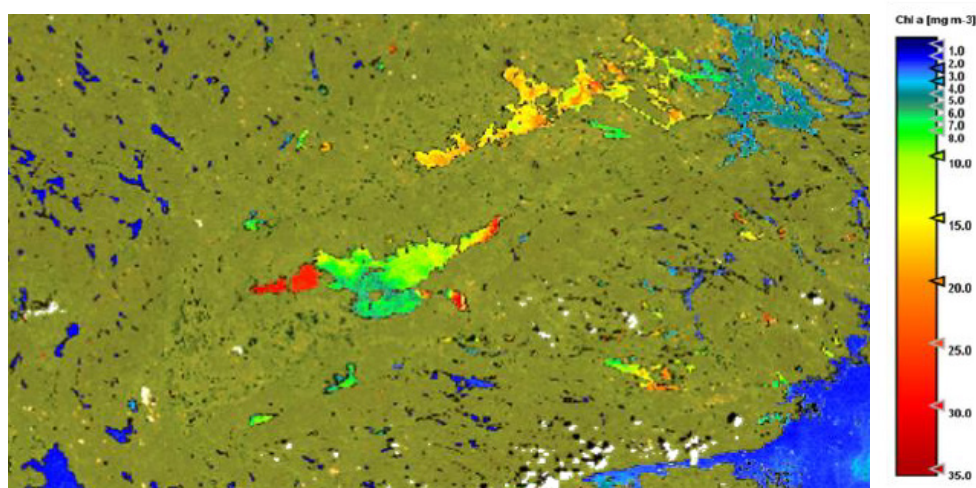
Samtliga av Hjälmarens fyra vattenförekomster (Figur 1) bedöms ha otillfredsställande ekologisk status, med påverkan av övergödning som främsta orsak (VISS 2024-03-03). Enligt gällande miljökvalitetsnormer ska sjön uppnå god ekologisk status senast 2027. För att nå de mål som fastslagits i Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG av den 23 oktober 2000 om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder på vattenpolitikens område (vattendirektivet) behöver halterna av fosfor i Storhjälmaren och Östra Hjälmaren minska med cirka 50 % (Karlsson et al. 2019). För Hjälmaren innebär miljökvalitetsnormen att fosforhalterna senast år 2027 ska minska till högst 37,4 µg fosfor/l i Hemfjärden, 30,2 i Mellanfjärden, 23,2 i Storhjälmaren och 22,6 µg fosfor/l i Östra Hjälmaren (VISS 2024-03-03). För klorofyll *a* finns också referensvärden som bör uppnås för att vattenförekomsterna ska uppfylla kraven för god ekologisk status. Storhjälmaren ska t ex för halten av klorofyll *a* uppnå 2,5 µg/l i årsmedelvärde (Philipson 2023).

¹ Enligt SMHI är arealen i medeltal 464 km²

En viktig historisk bakgrund till den nuvarande situationen är att Hjälmaren år 1878-1888 sänktes i det som kom att kallas ”den stora sjösänkningen”, vilket var ett av de mest omskrivna och omfattande vattenföretagen som någonsin genomförts i Sveriges historia. Man sänkte medelvattenståndet med 1,9 m och stora ytor torrlagd sjöbotten kunde tas i anspråk som jordbruksmark (Håkanson 1978).



Figur 1. Karta över Hjälmaren och dess vattenförekomster. Karta från OpenStreetMap.



Figur 2. Satellitbildstolkning (2008-07-24) av halten klorofyll a i Hjälmaren och omkringliggande sjöar. Från Philipson m.fl. 2016. Notera att tolkningen främst ger relativ skillnad mellan bassänger, och därmed illustrerar de relativt högre halterna i Hem- och Mellanfjärden.

Trots minskad externbelastning har fosforhalterna i Storhjälmaren och Östra Hjälmaren inte reducerats nämnvärt (Karlsson et al. 2019). Studier från flertalet sjöar i olika delar av Europa visar att trots minskad externbelastning av näringsämnen kan det ta mycket lång tid för sjöarnas miljö att återgå till hur det såg ut innan övergödningssproblemen uppstod (Jeppesen et al. 2007). En mycket viktig

anledning till detta är ett fenomen som kallas internbelastning. Med internbelastning menas att det kan finnas en stor pool av fosfor i bottensedimentet i sjöar som varit övergödda och att detta fosfor kontinuerligt läcker till vattnet. Denna interna fosforkälla kan vara betydande och av sådan magnitud att sjöarna fortsätter vara övergödda trots att stora ansträngningar görs för att minska tillförseln av näringsämnen genom till exempel byggande av reningsverk eller åtgärder inom jordbruket (Søndergaard et al. 2003). Tidigare studier i Hjälmaren har visat att det förekommer omfattande internbelastning i Hjälmaren (Malmaeus & Rydin 2015). Detta är särskilt tydligt i de två större och djupare vattenförekomsterna med utbredda sedimentbottnar (Storhjälmaren och Östra Hjälmaren) där internbelastningen är väsentligt större än den externa tillförseln av fosfor (Malmaeus & Rydin 2015).

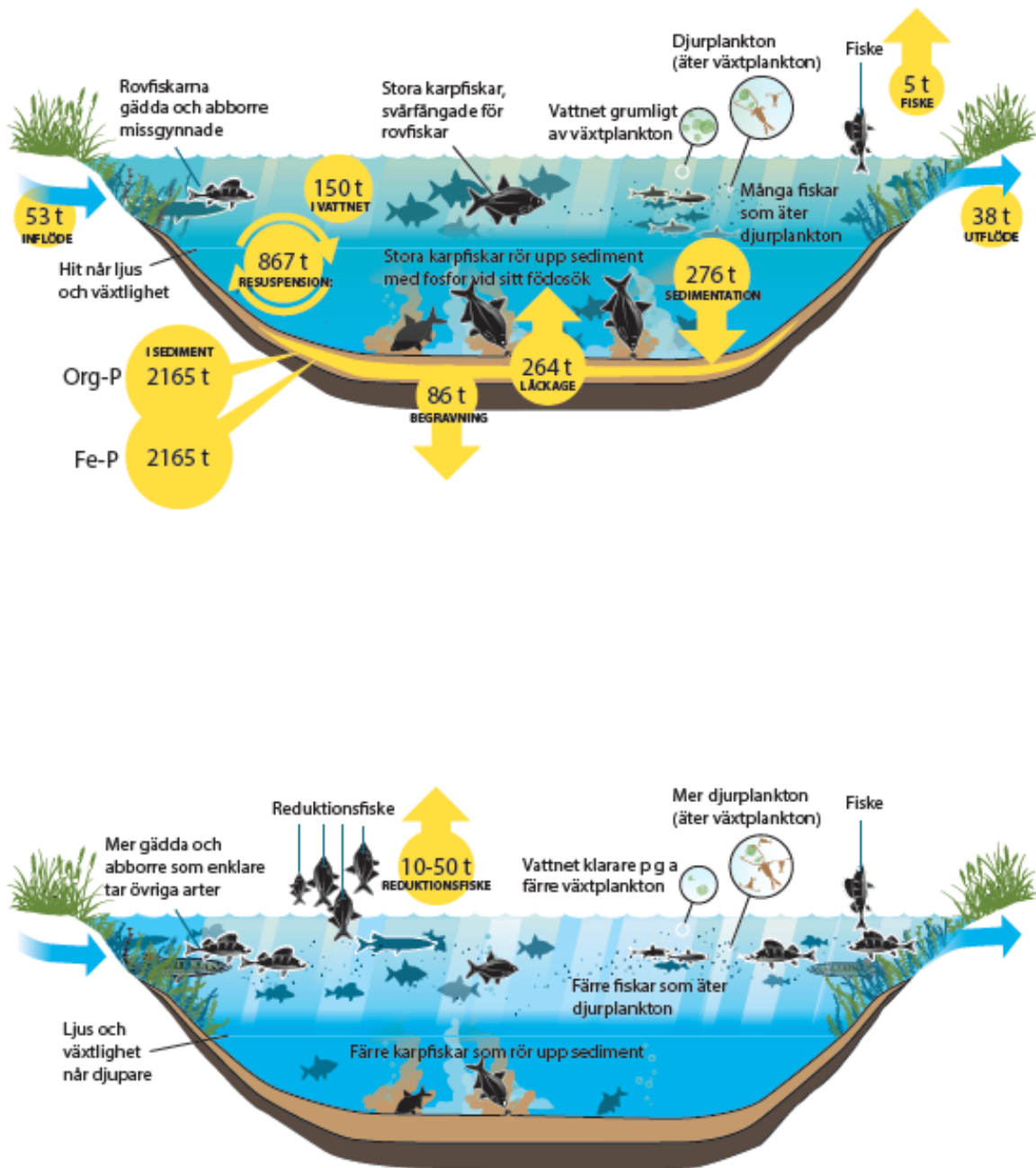
En rad storskaliga åtgärder för att minska internbelastningen från sedimenten i de större bassängerna i Hjälmaren (Östra Hjälmaren och Storhjälmaren) har tidigare analyserats (Karlsson et al. 2019). Kemisk fastläggning och olika sorters muddring bedömdes som de två potentiellt mest effektiva metoderna, men de är också mycket dyra och innebär i vissa scenarier stora utsläpp av växthusgaser om de ska genomföras i en så stor sjö som Hjälmaren. En annan metod som diskuterats i rapporten är storskaligt reduktionsfiske riktat mot karpfiskar. Av de metoder som diskuterats för att snabbt kunna nå vattendirektivets mål om god status (kemisk fastläggning, muddring eller reduktionsfiske) ansågs reduktionsfiske ha viss potential. Metoden har ansetts vara *“flexibel, vid behov reversibel, och med begränsad och styrbar effekt på ekosystemet”* (pers. komm. Ernst Witter, Länsstyrelsen i Örebro län). Reduktionsfiske förväntas kunna påverka vattenkvaliteten i Hjälmaren via olika mekanismer (Figur 3). En grundtanke med reduktionsfiske är att ”tippa” sjöns ekosystem från ett tidigare stabilt grumligare stadium till ett nytt stabilt stadium med mer klart vatten. Viktiga mekanismer för att få positiva effekter på vattenkvaliteten är:

1. Ett reduktionsfiske innebär att det sker ett direkt uttag av fosfor i och med att den fisk som fångas innehåller fosfor. Den exakta andelen varierar mellan arter men är i snitt ca 0,8 % av vikten (Iho et al. 2017).
2. Vissa karpfiskar, särskilt större braxen och karp (*Cyprinus carpio*, förekommer dock inte i Hjälmaren), bökar i sedimenten och tros därmed bidra till att fosfor läcker från sedimenten vilket förstärker internbelastningen Persson & Svensson 2006).
3. Karpfiskar äter djurplankton. Utfiskning kan därför bidra till att det blir mindre mängd växtplankton och därmed ett bättre siktdjup vilket kan göra det möjligt för vegetation att växa på större djup, som i sin tur kan binda fosfor, speciellt under sommarhalvåret. En ökad mängd vegetation och ett

bättre siktdjup kan förväntas stärka populationer av rovfisk som abborre och gädda (Jeppesen et al. 2007), men bättre siktdjup och mer vegetation är dock mindre fördelaktigt för gösen, en annan viktig rovfisk i Hjälmarens (Sundblad et al. 2020a). Reduktionsfiske kan minska andelen stora karpfiskar, vilket gör att en större andel är i lämplig storlek för rovfiskar, som annars är begränsade av sin gapstorlek (Olin et al. 2006).

Mekanismer som kan motverka de positiva effekterna av ett reduktionsfiske är:

1. Kompensatoriska mekanismer, det vill säga att man får ökad tillväxt, rekrytering och tidigare könsmognad hos de karpfiskar som fiskas, vilket ökar deras produktion (Karjalainen et al. 2023).
2. Ökat betningstryck av djurplankton kan driva växtplanktonssamhället mot en dominans av betningsresistenta arter (McQueen 1990).
3. Internbelastning på grund av vind- och vågdriven uppgrumling (Rask et al. 2020).
4. Kontinuerlig och hög extern tillförsel av näringsämnen (Jeppesen et al. 2007).
5. Fågelbetning kan motverka återetablering av vegetation, särskilt från sothöna och knölsvan (Hansson 1998).



Figur 3. Illustration som konceptuellt beskriver de viktigaste mekanismer som bidrar till att reduktionsfiske kan förbättra vattenkvaliteten i sjöar. Överst är nuvarande situation och under visas den förändring som förväntas av ett reduktionsfiske. Illustrationen anger också fosfordynamiken i Hjälmaran (gula pilar och cirklar anger antalet ton fosfor per år) och är delvis baserad på en figur som beskriver en massbalansmodell för fosfor (Karlsson et al. 2019). Illustration: Fredrik Saarkoppel, Kobolt Media AB.

1.2. Syfte

Syftet med denna rapport är att bedöma risker och förutsättningar för genomförande av reduktionsfiske i Hjälmarén som ett sätt att förbättra vattenkvaliteten, främst i vattenförekomsterna Storhjälmaren och Östra Hjälmarén där den stora internbelastningen innebär att det i dagsläget saknas realistiska åtgärder för att nå miljö kvalitetsnormen.

För att bedöma rimligheten av ett potentiellt reduktionsfiske krävs kunskap om de viktigaste faktorerna som påverkar utfallet och, för att bedöma omfattningen av ett potentiellt reduktionsfiske, hur mycket fisk det finns och produceras. Av den anledningen sammanställs i denna rapport beräkningar av mängden fisk i olika delar och miljöer i Hjälmarén. Beräkningarna baseras på tidigare utförda provfisken med de metoder som funnits tillgängliga, inklusive ett nytt båtelfiske. Utifrån målsättningar inom både fisk- och vattenförvaltningen förs också ett resonemang om risker och potentiell genomförbarhet av ett reduktionsfiske i Hjälmarén. Bedömningen innehåller många aspekter, det ska dock poängteras att syftet med denna rapport inte varit att göra en ekonomisk utvärdering av reduktionsfiske jämfört med andra tänkbara åtgärder.

2. Metod

2.1. Litteraturgenomgång

I vår litteraturgenomgång har vi utgått från Bernes et al. (2015) systematiska utvärdering om reduktionsfiske för att restaurera övergödda sjöar, som publicerades på initiativ av Mistras råd för evidensbaserad miljövård. I utvärderingen identifierades 14 500 vetenskapliga artiklar, vilket efter sällning enligt förbestämda kriterier resulterade i användbara data från 128 biomanipuleringar från 123 sjöar. Utöver den omfattande genomgången har vi specifikt sökt studier som genomförts efter 2014, i större sjöar, på liknande breddgrad och med liknande arter som i Hjälmaren, för att kunna göra så relevanta jämförelser som möjligt. Vi har huvudsakligen riktat in oss på studier som utvärderar just utfiskning och inte utsättning av rovfiskar som ofta också brukar inkluderas i begreppet biomanipulation. Sökningarna har gjorts dels via ”Google scholar” (huvudsakliga sökord: ”biomanipulation”, ”lake”, ”fish removal”, ”eutrophication” och ”lake restoration”), dels genom att systematiskt söka i litteraturförteckningar för relevant litteratur, samt genom sökningar i biblioteket på SLU:s Sötvattenslaboratorium på Drottningholm.

2.2. Arealer och djupzoner

Förekomst och täthet av olika fiskarter varierar mellan bassänger och typ av livsmiljö (habitat) samt med vilken provtagningsmetod som använts. I sammanställningen har vi försökt ha en så detaljerad rumslig upplösning som möjligt. Detta för att göra det tydligt vilka data som finns tillgängliga och för att vara transparenta kring vilka underlag som används för aggregering till beräkningar av biomassa och produktion på helsjönivå, det vill säga sammanslaget för olika metoder och livsmiljöer: pelagiskt (fria vattenmassan), bentiskt (nära botten) och littoralt (nära stränderna). Beräkningarna begränsas till vissa bassänger och djup beroende på vilken provtagningsmetod som använts. För den specifika metoden, bassängen och djupet kan den från olika undersökningar erhållna beräkningen av

biomassa per hektar räknas upp till större ytor utifrån kunskap om arealer för olika djupklasser (Tabell 1).

Tabell 1. Arealer för olika djupklasser från Håkansson 1978 (appendix 2). I dag ingår Södra Hjälmaren i Storhjälmaren (Figur 1).

Bassäng	Djupklass	Area (ha)	Volym (km ³ *10e-5)	Kumulativ area (ha)	Andel av sjöytan (%)
Hemfjärden	0-1	1 365,6	1 839,0	2 541,0	2,85 %
Hemfjärden	1-1,5	477,0	469,5	1 175,4	1,00 %
Hemfjärden	1,5-2	694,4	127,6	698,4	1,45 %
Hemfjärden	2-2,6	4,0	0,8	4,0	0,01 %
Mellanfjärden	0-2	1 895,9	6 149,6	4 012,7	3,96 %
Mellanfjärden	2-3	1 962,0	1 139,5	2 116,8	4,10 %
Mellanfjärden	3-3,2	154,8	15,5	154,8	0,32 %
Storhjälmaren	0-3	5 514,6	74 530,5	27 646,5	11,53 %
Storhjälmaren	3-6	4 435,5	59 626,9	22 131,9	9,27 %
Storhjälmaren	6-9	8 854,6	39 052,4	17 696,4	18,51 %
Storhjälmaren	9-12	5 487,7	17 644,1	8 841,8	11,47 %
Storhjälmaren	12-15	1 967,3	6 898,6	3 354,1	4,11 %
Storhjälmaren	15-18	1 215,6	2 045,5	1 386,8	2,54 %
Storhjälmaren	18-21	169,2	191,7	171,2	0,35 %
Storhjälmaren	21-22	2,0	0,7	2,0	0,00 %
Södra Hjälmaren	0-3	2 232,1	26 435,3	9 907,7	4,67 %
Södra Hjälmaren	3-6	2 709,8	18 909,3	7 675,6	5,66 %
Södra Hjälmaren	6-9	2 296,4	11 332,4	4 965,8	4,80 %
Södra Hjälmaren	9-12	2 233,8	4 204,2	2 669,4	4,67 %
Södra Hjälmaren	12-15	374,4	663,4	435,6	0,78 %
Södra Hjälmaren	15-16	61,2	20,5	61,2	0,13 %
Östra Hjälmaren	0-3	937,0	9 232,1	3 572,2	1,96 %
Östra Hjälmaren	3-6	1 522,8	5 435,2	2 635,2	3,18 %
Östra Hjälmaren	6-9	756,0	2 088,6	1 112,4	1,58 %
Östra Hjälmaren	9-12	204,3	737,9	356,4	0,43 %
Östra Hjälmaren	12-15	114,1	264,9	152,1	0,24 %
Östra Hjälmaren	15-18	28,6	66,0	38,0	0,06 %
Östra Hjälmaren	18-20	9,4	6,2	9,4	0,02 %
Hela Hjälmaren	0-3	15 182,6	119 923,9	47 843,1	31,7 %
Hela Hjälmaren	3-6	8 822,9	83 985,9	32 660,5	18,4 %
Hela Hjälmaren	6-9	11 970,0	52 473,4	23 837,6	25,0 %
Hela Hjälmaren	9-12	7 925,8	22 586,2	11 867,6	16,6 %
Hela Hjälmaren	12-15	2 455,8	7 826,9	3 941,8	5,1 %
Hela Hjälmaren	15-18	1 305,4	2 131,0	1 486,0	2,7 %
Hela Hjälmaren	18-21	178,6	197,9	180,6	0,4 %
Hela Hjälmaren	21-22	2,0	0,7	2,0	0,0 %

2.3. Hydroakustik & trålning

I Hjälmmaren har hydroakustiska undersökningar med trålning genomförts 2009, 2015, 2019, 2020 och 2022. I denna studie användes inte data från 2009 på grund av att metodiken utvecklats sedan dess och att fiskesamhället kan ha förändrats. Med hydroakustik och trålning avses en fiskundersökningsmetodik som bygger på att fisk registreras med ett vetenskapligt ekolod längs förutbestämda transekter vilka fartyget följer (Axenrot 2020). Trålning sker för att kunna verifiera vilka arter och storlekar av fiskar som registreras av ekolodet. Undersökningarna sker nattetid och följer en europeisk standard (EN 15910 2014). Det finns dock svårigheter med att använda denna metod i Hjälmmaren på grund av att sjön är förhållandevis grund. Det finns också stora skillnader mellan år vilket antyder att hydroakustiska data är mindre tillförlitliga jämfört med motsvarande från andra, djupare sjöar, som exempelvis Väneren, Vättern eller Mälaren. För beräkning av biomassa användes därför endast informationen från trålningen.

Totalt görs tre trålningar i Storhjälmaren per undersökningsår, två i den södra och ett i den nordvästra delen, samt ett trålning per undersökningsår i Södra Hjälmmaren. Baserat på trålningen beräknades biomassa per hektar för respektive år och område (Storhjälmaren nordväst, Storhjälmaren syd och Södra Hjälmmaren). Därefter beräknades ett genomsnittligt värde för Storhjälmaren. Då det endast var två mätvärden för Södra Hjälmmaren bedömdes det för osäkert att inkludera. Täthetsberäkningen gjordes genom att multiplicera biomassan per trålad meter med trålens bredd (12 m) omräknat till hektar.

Biomassa baserat på data från trålning summerades för alla arter, samt separat för de dominerande arterna braxen/björkna (sammanslagna på grund av problem med att särskilja arterna när de är små), gös $\geq 1+$, nors $\geq 1+$ samt nors $0+$, vilka utgjorde 98,1 % av den trålade biomassan. Övriga arter som fångats var abborre, asp, benlöja, faren, gers, gös $0+$, mört och småspigg. På grund av låga fångster och statistisk osäkerhet (det 95 %-iga konfidensintervallet överlappade noll) uteslöts de enskilda beräkningarna av biomassa för dessa arter.

Trålningen skedde på ett djup mellan två och sex meter där bottendjupet är djupare än 9 meter. Även om inte hela vattenvolymen har provtagits antas beräkningen av biomassa per hektar representera ytan 9-22 meter för Storhjälmaren för att möjliggöra en uppräknig (Tabell 1). Antagandet innebär att om det finns mer fisk i vattenvolymen som inte trålas (0-2 och 6-22 m) än den som trålas är våra beräkningar en underskattning av den totala biomassan och tvärt om ifall det finns mindre fisk.

2.4. Nätprovfisken

Standardiserade nätprovfisken med nättypen Bkust9+2 (samma provfiskenät som används längs svenska ostkusten med tillägg av två paneler med mindre maskor, 6,25 och 8 mm) har genomförts på två olika platser i Storhjälmaren i modern tid (2009-2024). Åren 2009-2011 genomfördes fisket i nordvästra (NV) Storhjälmaren (24 nät per år). På grund av problem med bifångst av signalkräfta flyttades provfisket till en annan lokal i sydöstra (SO) Storhjälmaren. Där har åren 2013, 2016, 2019 och 2022 bedrivits standardiserade och omfattande provfisken (32 nät per år). De två lokalerna skiljer sig i viss mån med avseende på bottenhårdhet (mjukare i SO Hjälmaren) och provfiskat djup. Nätens medeldjup var liknande men maxdjupet olika på de två platserna (Storhjälmaren NV medeldjup = 5,1 m, maxdjup = 10 m, Storhjälmaren SO medeldjup = 7,6 m, maxdjup = 18,4 m).

Fiske med kustöversiktsnät av typen Bkust9 (det vill säga samma nät som Bkust9+2 men utan de två minsta panelerna med maskorna 6,25 och 8 mm) har även gjorts i Mellanfjärden år 2006 och 2008 (12 respektive 36 nät). Från Mellanfjärden finns också provfisken från tidigare år, genomförda med annorlunda provfiskenät än de som används idag. Provfiske har skett i Mellanfjärden åren 1955-1978, 1984-1987, 2002 och 2006-2008 (Degerman et al. 2001; Degerman 2008; Degerman et al. 2003; Svärdson & Molin 1981) med syfte att följa gösbeståndet och fisksamhällets sammansättning. Sammanställningen i denna rapport baseras dock endast på redskapen Bkust9+2 i Storhjälmaren 2009-2022 och Bkust9 i Mellanfjärden 2006-2008, för att öka jämförbarheten och för att omräkningsfaktorerna som används för att beräkna nätens fiskade yta bör vara baserade på liknande redskap (se nedan). Skattningen i Mellanfjärden kan anses mer osäker då avsaknaden av de två minsta maskorna riskerar ge en något lägre skattning av biomassan än i Storhjälmaren, och på grund av att fisket genomfördes för 18 och 16 år sedan.

För beräkning av biomassa i denna rapport slogs fångster av de två arterna braxen och björkna ihop. Särskilt vid mindre storlekar kan dessa arter vara svåra att skilja åt, även vid ett eventuellt reduktionsfiske, och deras ekologiska funktion antas till stor del överlappa. Utöver braxen/björkna beräknades även biomassa för gruppen karpfiskar (*Cyprinidae*), vilket inkluderade asp, benlöja, braxen/björkna, mört, faren, obestämda karpfiskar, ruda, sarv och sutare. Genomsnittlig fångst per ansträngning (biomassa per nät och natt) beräknades först per provfiskelokal och sedan för Storhjälmaren som helhet via medelvärdet av de två lokalerna.

Eftersom det är okänt hur stor yta som fångsten i ett nätprovfiske representerar nyttjas fångst per ansträngning generellt som ett relativt täthetsindex, snarare än ett kvantitativt mått per ytenhet. Som underlag för resonemangen i denna rapport gjordes dock ett försök att konvertera fångst per ansträngning till biomassa per

hektar, vilket tidigare gjorts för gös (Sundblad et al. 2020a). Omräkningsfunktionen som användes baserades på provfisken med samma nättyp (förutom de två minsta maskorna) från Forsmark för att beräkna biomassa per hektar (Heibo & Karås 2005) och bygger på märknings-återfångststudier på abborre i den på den tiden avstängda Biotestsjön. Beräkningarna av biomassa från nätprovfiskena vilar således på antagandet att konverteringsfunktionen som är framtagen för abborre i Forsmark är överförbar till de fiskarter som ingått i studien i Hjälmarén.

Slutligen beräknades biomassa per hektar utifrån arealen av de djupintervall som nätprovfiskena utförts på, det vill säga för Storhjälmaren 1,5 till 18,4 meters djup och för Mellanfjärden 1,3 till 2,5 meter. Beräkningar av arealer för Storhjälmaren återfinns i Håkanson (1978) och anges för djupintervallet från 0-3 till 22 meter vara 27 647 hektar, och för 0-3 meter i Mellanfjärden vara 3 858 hektar (Tabell 1).

2.5. Båtelviske

För att beräkna fiskbiomassan på grunt vatten (grundare än cirka 2 m) och i mer strandnära miljöer användes båtelviske. Båtelviske har i Sverige i första hand använts för övervakning av fisk i mellanstora vattendrag (Bergquist et al. 2007; Näslund et al. 2023). För denna typ av miljöer finns även en övervakningsmanual som mer i detalj beskriver metoden och hur den ska utföras (Havs- och vattenmyndigheten 2022). Båtelviske i grunda delar av sjöar har inte använts lika ofta som i vattendrag och oss veterligen har metoden inte använts standardmässigt i övervakningen av fisk i svenska sjöar. Metoden används dock i sjöar i en del andra länder som t ex USA, Kanada och Australien. Denna studie är den första som hittills genomförts i en produktiv och stor svensk insjö. Resultaten är således intressanta även för andra syften som till exempel utveckling av icke-destruktiva fiskundersökningsmetoder i stora sjöar (Nilsson et al. 2023).

Båtelvisket bedrevs med pulserande likström (120 Hz, 500-1000 V). För mer detaljer om båtelviskets utförande hänvisas till Thorfve (2024). Elfiskebåten färdades långsamt längs en på förhand utvald transekt (se mer om undersökningens design nedan). Elströmmen var påslagen i intervaller om 7-10 sekunder. Två personer i fören på elfiskebåten håvade fisk som snabbt förflyttades till elfiskebåtens sump. Håvpersonal och båtföraren räknade också fisk som observerades men inte kunde håvas. Normalt mäter man längden på all fisk som fångas i båtelviske (Havs- och vattenmyndigheten 2022), vilket också gjordes här så länge fångstmängderna var hanterbara. I vissa fall fångades dock periodvis mycket stora mängder fisk av vissa arter (upp till 1 000 individer per transekt). På transekter med mycket stora fångster mättes inte längden på hela fångsten utan endast delar av den. Detta gällde arterna abborre, mört, gers och benlöja. Större

fiskar som braxen och samtliga gäddor och gösar längdmättes regelmässigt. Fiskar som inte längdmättes vägdes artvis tillsammans. För längdmätt fisk användes sedan längden för omräkning till biomassa baserat på tidigare längd-vikt data från Hjälmarens.

2.5.1. Design

Båtelfisket genomfördes i hela Hjälmarens. Undersökningstransekterna fördelades i fyra huvudsakliga delområden: de fyra vattenförekomsterna Hemfjärden, Mellanfjärden, Storhjälmaren och Östra Hjälmarens. Fisket skedde i tre huvudsakliga habitat/miljöer.

1. Områden direkt i anslutning till stränder (*Strand* – ca 0-25 m från strandlinjen).
2. Områden direkt utanför dessa strandnära miljöer (*Nära strand* – ca 25-50 m från strandlinjen). I Hem- och Mellanfjärden var det på många platser för grunt och för tät övervattensvegetation för att tillåta båtelfiske allra närmast strandlinjen. Där fiskades då lokaler som låg så strandnära som möjligt, vilket i praktiken innebar att de i vissa fall låg längre ut från stranden än 0-50 m. De undersökta lokalerna var ändå nästan uteslutande vegetationsklädda och låg i direkt anslutning till tät, ogenomtränglig, vegetation.
3. Områden längre ut från stränderna i de öppna delarna av Hemfjärden och Mellanfjärden (*Öppet*). Dock begränsat till 2 meters djup. På öppna delar av Storhjälmaren och Östra Hjälmarens skedde inget båtelfiske då dessa miljöer är för djupa för att metoden ska vara användbar.

Båtelfiske skedde under tre perioder, månadsskiftet april/maj, juli och augusti. Insamlade data med avseende på fångster av fisk och miljön på varje undersökt transekt protokollfördes i enlighet med standardprotokollet för båtelfiske (Havs- och vattenmyndigheten, 2022). I samband med undersökningarna i juli och augusti genomfördes också ett test av båtelfiske nattetid. Totalt 20 transekter undersöktes nattetid och dagtid för att bedöma hur stor effekt vilken tiden på dygnet har för fångsten av olika arter. Tidigare erfarenheter (Stefan Thorfve personlig kommunikation) var att fångsterna av vissa arter nattetid kan vara väsentligt högre än under dagtid.

Eftersom relativ täthet i stickproven inte skiljde sig mellan strand och nära strand (se resultat) användes den totala ytan för Hemfjärden, Mellanfjärden, Östra Hjälmarens och slutligen Storhjälmaren och Södra Hjälmarens tillsammans. För att beräkna den totala ytan av strandnära miljöer som stickproven med båtelfiske representerar användes en 50 meter bred buffert från strandlinjen ut i vattnet, som den är definierad enligt vattenförekomsterna (från SMHI:s shape-filer 2016). För

Öppet habitat i Hem- och Mellanfjärden beräknades den totala ytan via djupintervallet noll till två meter (Tabell 1) minus den i GIS-program beräknade arealen för den 50 m breda bufferten som representerar Strand och Nära strand.

2.6. Fritidsfiske

Data för fritidsfiske har erhållits från Havs- och vattenmyndigheten som sedan 2013 årligen uppdragit Statistikmyndigheten SCB att genomföra en nationell enkätundersökning om fritidsfiske (se t ex Havs- och vattenmyndigheten 2019, 2022). För de stora sjöarna kan fångsten delas upp i art- och sjöspecifik totalfångst, vilket består av behållen fångst plus återutsatt fångst. Redovisade fångstuppgifter är baserade på medelvärden per år, beräknade för den senaste femårsperioden (2019-2023) och gäller Hjälmarens som helhet. Skattningar av fångster där det 95 %-iga konfidensintervallet är för stort har bedömts som för osäkra och redovisas därför inte. Mer detaljerade beskrivningar av beräkningarna bakom statistiken finns på SCB:s webbsida².

2.7. Yrkesfiske

Stickprov från yrkesfisket avseende storlek och ålder hos braxen samlades in under våren, sommaren och hösten 2023. Prover togs in från bottengarn hos två yrkesfiskare som fiskar i Storhjälmaren. Av totalt 965 längdmätta braxnar samlades 347 stycken in för bedömning av könsmognad och bestämning av ålder på SLU:s ålderslaboratorium i Drottningholm. Urvalet av individer som tagits undan för bestämning av ålder var platt, vilket innebär att det inkluderade lika många individer per längdgrupp. Bedömning av gonadernas status gjordes för samtliga stickprov i fyra kategorier: omogen, ej lekmogen, lekmogen och utlekt baserat på färg, form och förekomst (och storlek) av rom. De fyra kategorierna delades in i två klasser som indikerade om individen var könsmogen eller inte, vilket slutligen modellerades som en binomial funktion av längd respektive ålder per sjö.

Insamlat data används för en kohort-analys som ger en alternativ beräkning av total biomassa av braxen i Hjälmarens (Jones 1990; Mildemberger et al. 2017), se nedan.

Fångststatistik från yrkesfisket har sammanställts genom att använda Havs- och vattenmyndigheten och Statistikmyndigheten SCB:s årliga statistik över insjöfiskets landningar.

² <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/jord-och-skogsbruk-fiske/fiske/fritidsfiske/> & https://www.scb.se/contentassets/c57eb1c55a4b48c3b0ef4ee263534296/jo1104_kd_2023_v1_20240619.pdf

2.7.1. Kohortanalys

Baserat på storleks- och åldersfördelningen i yrkesfiskets fångst samt skattad tillväxt och ett antal antaganden om dödlighet utfördes en kohortanalys (Jones 1974; 1984). Modellen bygger på att man för varje längd-kohort under jämviktsförhållanden kan beräkna effekterna av fiske och naturlig dödlighet på den givna kohorten. Längdbaserad kohortanalys har använts i många olika typer av analyser. Bland annat för att göra bioekonomiska analyser av fiske (Eggert & Ulmestrand 1999), utvärdering av effekter av fiske (Mildenberger et al. 2017) samt bedömningar av reduktionsfiske (Rask et al. 2020). En viktig komponent i denna analys är att man antar att det finns ett samband mellan längden hos en kohort och dess ålder. Analysen ger möjlighet att beräkna den totala biomassan av braxen i Hjälmarens. Viktiga antaganden är:

- att fiskets ansträngning inte ändras över tiden man vill beskriva
- att man känner till naturlig mortalitet
- att längdstrukturen är relativt stabil

Vi saknar uppgifter om naturlig dödlighet hos braxen i Hjälmarens och räknar därför på fyra olika scenarier för naturlig dödlighet. Naturlig dödlighet kan skattas via generella samband mellan maximal ålder, ålder vid könsmognad, medeltemperatur, och tillväxt (Hewitt & Hoenig 2005; Rikhter & Efanov 1976). Vi har använt Copes applikation för bestämning av naturlig dödlighet (www.barefootecologist.com). I den används ett flertal erkända modeller för att skatta naturlig dödlighet hos fiskbestånd. Med anledning av att braxen växer långsamt och har hög ålder är skattad naturlig dödlighet låg (M mellan 0,06 och 0,15). Vi testade därför fyra scenarier för naturlig dödlighet (medel för fiskar med en totallängd på 140-550 mm) enligt $M=0,06; 0,09; 0,12$ och $0,15$). Vi har viktat naturlig dödlighet med vikten på braxen i enlighet med Lorenzen (1996). Det innebär ett antagande om att naturlig dödlighet hos braxen minskar med ökad vikt. De viktigaste parametrarna i kohortanalysen anges i Tabell 2.

Tabell 2. Parametervärden för kohortanalys på braxen i Hjälmarens.

Förkortning	Förklaring	Värde
L_{inf}	asymptotisk storlek (mm)	604
k	Tillväxthastighet (längd (mm)/år)	0,04
T_0	intercept för tillväxtmodell	-5
M	naturlig dödlighet	0,06-0,15
Uttag	årlig landning i yrkesfisket (ton)	67
a	konstant, vikt-längdförhållande	0,000012
b	konstant, vikt-längdförhållande	2,956183

3. Resultat

3.1. Viktiga faktorer enligt litteraturen

Reduktionsfiske har använts och fortsätter användas i övergödda sjöar i både Sverige och andra länder i Europa (Bernes et al. 2015). Det har skrivits ett antal litteratursammanställningar på temat reduktionsfiske och biomanipulation av sjöar under de senaste 25 åren. Exempelvis Gulati & Van Donk (2002); Hansson (1998); Jeppesen et al. (2007); Jeppesen et al. (2012); Meijer et al. (1999); Mehner et al. (2002) och Søndergaard et al. (2008). Den enskilt största och mest ambitiösa metaanalysen med fokus på reduktionsfiske och dess betydelse som åtgärd för att förbättra vattenkvaliteten i övergödda sjöar publicerades av Bernes et al. (2015). Metaanalysen syftade i första hand på att utvärdera i vilken omfattning siktdjup och halten klorofyll *a* påverkas av ett reduktionsfiske. I studien bedömdes också i vilken mån utfallet påverkades av faktorer som fosforhalt innan reduktionsfisket, sjöstorlek, utfiskningsintensitet, medeldjup, retentionstid och temperaturförhållanden. Flera av dessa litteratursammanställningar använder delvis samma resultat vilket också medfört att många av slutsatserna är likartade. En övervägande majoritet av de olika sjöar där det skett uppföljningar av utfallet före och efter reduktionsfiske är förhållandevis små, grunda och näringsrika och ligger i Danmark och Nederländerna samt i Nordamerika. Det innebär att tillämpning av slutsatser på Hjälmaran ska göras med försiktighet. Vi har också tagit del av ett antal svenska rapporter som beskriver utfallet av reduktionsfisket. Vi refererar till dessa i vissa fall men har valt att inte använda rapporter som saknar en formell statistisk analys av data angående utfallet av reduktionsfiske i specifika sjöar för bedömning av utfiskningsbehov i Hjälmaran.

Reduktionsfiske bedömdes vara särskilt framgångsrikt i relativt små sjöar med kort omsättningstid och höga fosforhalter före ingreppet. Sjöar av storlek i paritet med Hjälmaran sänkades helt i analysen i Bernes et al. (2015), där den största sjön hade en storlek av knappt 39 km², mindre än en tiondel av Hjälmarens yta. Ökad borttagning av fisk förstärker åtgärdens effekter. Reduktionsfiskets positiva effekter på vattenkvaliteten varar normalt i åtminstone tre år. I några sjöar som följts under lång tid kvarstod effekterna i tio år eller mer. Som alternativ till

reduktionsfiske har man i en del sjöar satt ut rovfiskar för att öka predationen på mört och liknande fisk. Den metoden visade sig dock inte kunna förbättra vattenkvaliteten nämnvärt (Bernes et al. 2015).

3.1.1. Svenska och finska exempel

Vi drar slutsatsen att reduktionsfiske som metod har använts mer i Finland än i Sverige. De finska sjöarna är också större än motsvarande i t ex Sverige, Danmark eller Nederländerna och många av dem ligger på en liknande breddgrad som Hjälmarens. Det har också publicerats en del nyare resultat om finska erfarenheter på detta område.

Reduktionsfiske har använts i Sverige i åtminstone 20-talet sjöar, varav några här ges extra uppmärksamhet. I sjön Lången, i Hjälmarens tillrinningsområde pågår i skrivande stund en insats med reduktionsfiske, denna är dock inte klar förrän 2025.

- **Vallentunasjön** (5,8 km², medeldjup 2,4 m). Sjö med vattenkvalitetsproblem i Täby och Vallentuna kommun nära Stockholm. Reduktionsfiske, främst via fiske med bottengarn, har genomförts årligen sedan 2010 (Klara Vatten AB 2021). I snitt fångas 10 ton per år, vilket motsvarar 17 kg/ha och år. Förutom reduktionsfiske har lågflödesmuddring genomförts i delar av sjön. Anläggning av våtmarker planeras för att reducera närsaltsbelastningen. Data från Vallentunasjön ingår i utvärderingen av Bernes et al. (2015). Där framgår att det vid den tidpunkten inte blivit någon större effekt av utfiskningen på vattenkvaliteten i Vallentunasjön, främst för att fisket inte varit av tillräckligt stor omfattning men eventuellt även för att avloppsvatten ibland breddas ut i sjön. Idag har fisket pågått i ytterligare tio år med ungefär samma årliga uttag. Det finns indikationer på att vattenkvaliteten förbättrats på senare år men det saknas utvärdering av oberoende part.
- **Sövdeborgssjön** (0,1 km², medeldjup 2,4 m), Skåne. Liten skånsk sjö där reduktionsfisket genomförts i omgångar (Persson et al. 1993). Omfattningen på fisket motsvarade ungefär att 20 % av karpfiskens togs bort. Biomassan fisk var hög (omkring 500 kg/ha). Positiva resultat på vattenkvalitet uteblev, troligen på grund av ett relativt lågt uttag i förhållande till biomassa (Bernes et al. 2015). I närheten ligger den större Sövdesjön (2,7 km² medeldjup 3,4 m) där man också bedrivit reduktionsfiske under senare år. Under de tre första åren av reduktionsfisket var uttaget 128 kg/ha och år (Björk Rengbrandt & Böklin 2019). Reduktionsfiske har beskrivits ge positiva effekter på siktdjup men utvärdering av oberoende part saknas.

- **Ringsjöarna** (Västra 14,4 km², medeldjup 2,4 m; Östra 20,5 km²; medeldjup 6,1; Sätoftasjön, 4,2 km²; medeldjup 3,0 m), Skåne. Åren 1988-1992 genomfördes reduktionsfiske av mört och braxen med trålning (Hamrin 1999). Reduktionsfiske genomfördes återigen 2005. Sedan starten på det andra reduktionsfisket i Ringsjön har ca 1 800 ton karpfisk tagits upp framför allt via trålning. Detta motsvarar 26 kg/ha & år under perioden 2005–2022 (Nyström & Stenberg 2023). Man tror att 50-60 % av karpfiskbiomassan fiskades ut under den första utfiskningen. Den andra utfiskningen uppnådde man ej målet om att ta upp 200 kg/ha men som mest tror man att karpfiskbeståndet i Västra Ringsjön decimerades med 86 %. Uppföljningen i Ringsjöarna har överlag varit ambitiös med omfattande årlig datainsamling av många parametrar. Efter första utfiskningen bedömdes att fosforhalten minskat men att det var svårt att med säkerhet bedöma vilken betydelse som utfiskningen haft. Det var ingen tydlig effekt på siktdjup även om mängden blågrönalger minskade. Det var heller ingen tydlig effekt på vegetationen (Strand 1999) och ingen större effekt på djurplankton (Romare & Bergman 1999). Resultaten efter andra utfiskningen tyder på att Ringsjöarnas vattenkvalitet förbättrats. Det är dock även i detta fall svårt att exakt avgöra vilken betydelse som reduktionsfiske haft i förhållande till andra åtgärder. Flera parametrar har nu förbättrats signifikant, bland annat totalfosfor, siktdjup, växtplankton och undervattensvegetation (Nyström 2018).
- **Finjasjön** (10,4 km² medeldjup 2,7 m), Skåne. Reduktionsfiske startade redan på 1950-talet med utfiskning av mört av lokala fiskare. Under 1990-talet ökade omfattningen, följt av ett uppehåll innan åtgärden åter togs upp ca 2006-2007 med andra redskap: bottengarnsfiske på våren och ringnotsfiske på hösten (Olsson 2023). Denna satsning pågår fortfarande. Första åren var utfiskningen omfattande med 80 % reduktion av bestånden av karpfisk via daglig trålning. Numera är uttaget cirka 75 ton per år (72 kg/ha & år), vilket sammantaget gett positiva effekter på klorofyll *a*, siktdjup, totalfosfor, djurplankton och undervattensvegetation (Hansson 1998; Annadotter et al. 1999; Strand & Weisner 2001; Persson & Nilsson 2007). Även andra åtgärder, bland annat muddring av sediment har genomförts, vilket försvårat bedömningen av vilka enskilda insatser som varit viktigast. Sjön har fortfarande periodvis problem med dålig vattenkvalitet även om det skett en viss förbättring jämfört med 80-talet.

- **Växjösjöarna - Barnsjön** (0,2 km² medeldjup 1,8 m), **Trummen** (0,8 km² medeldjup 1,6 m), **Växjösjön** (0,8 km², medeldjup 3,4 m) samt **Södra** (4,3 km² och medeldjup 2,5 m) och **Norra Bergundasjön** (2,2 km², medeldjup 3,3 m) utgör ett nätverk av sjöar i närheten av Växjö. Samtliga är grunda och mycket näringsrika. Reduktionsfiske har här kombinerats med flera andra åtgärder: muddring, anläggningar för rening av dagvatten och bottenbehandling med aluminiumklorid (Hedré 2018). Här finns även planer på att anlägga en våtmark (Växjö kommun 2022). Under 2016-2018 reduktionsfiskades 200 ton på 3 år, motsvarande 83 kg/ha & år. Överlag är resultaten från utfiskningen relativt positiva men det är svårt att veta i vilken grad reduktionsfiske bidragit i förhållande till andra åtgärder. Det finns heller ingen oberoende utvärdering av utfallet.

I en stor och gedigen finsk studie analyserar Olin et al. (2006) resultaten av reduktionsfiske i tio finska sjöar (fjorton om man beaktar att vissa var uppdelade i bassänger). De sjöar som undersöktes ligger på en något högre latitud än Hjälmarén men bör kunna anses klimatmässigt likartade. Däremot var sjöarna små och mellanstora (cirka 15-3 000 hektar) och därför avvikande från Hjälmarén. Effekterna på vattenkvalitet varierade mellan sjöar men var överlag måttliga trots delvis stora uttag av fisk (>200 kg/ha & år i sju bassänger i fem sjöar, och mellan 44 och 472 kg/ha & år totalt). De drar slutsatsen att uttaget i reduktionsfiske helst bör vara mycket omfattande och uthålligt, att sjöarna helst inte bör ha problem med grumlighet på grund av suspenderat material (dvs inte på grund av hög biomassa av växtplankton utan av oorganiskt material) och att extern tillförsel av fosfor bör vara låg eller sjunkande.

En annan finsk studie (Salonen et al. 2020) sammanfattar 40 års erfarenheter av övergödningsåtgärder i en delbassäng i sjön Vesijärvi (Enonselkä: 32 km², medeldjup 6,8 m; hela sjön 109 km² medeldjup 6,0 m). Från början av 1990-talet har utfiskning ingått som en av åtgärderna. Den första halvan av 90-talet fiskades stora mängder planktonätande och bottenfaunaätande fisk (över 80 kg/ha & år som mest). Biomassan av arter som mört och nors reducerades med åtminstone 90 % (Horppila et al. 1998). Kort efter den mest omfattande utfiskningen skedde en minskning av halten av klorofyll *a* vilket sätts i samband med utfiskningen. Man konstaterar dock att eftersom så många andra övergödningsbekämpande åtgärder initierats parallellt med utfiskningen var det svårt att bedöma reduktionsfiskets bidrag till förbättrad vattenkvalitet.

Rask et al. (2020) beskriver utvecklingen i sjön Tuusulanjärvi (6 km², medeldjup 3,2 m, nära Helsingfors) mellan åren 1997-2018. Där genomfördes reduktionsfisket med roterande intensitet i en tre-års cykel. Under de tre första åren

var uttaget högre (100 och 180 kg/ha & år) följt av tre år med lägre uttag (50 kg/ha & år) osv i 22 år. Fisket skedde på hösten (sep-nov). Studien är unik genom att man dokumenterat reduktionsfisket under en så lång tidsperiod. Man konstaterar i likhet med Olin et al. (2006) att reduceringen endast gav små och svårtolkade effekter på vattenkvalitetsparametrar som klorofyll *a*, biomassa av växtplankton, siktdjup och halter av närsalter. Ett problem med Tuusulanjärvi har varit att den externa tillförseln av fosfor varit hög under hela perioden vilket gjort att fisksamhällets kompensatoriska respons (tillväxt, rekrytering, könsmognad mm) varit stark. Sjön har också problem med lågt siktdjup som uppstår på grund av lergrumling under år med mycket nederbörd vilket innebär att eventuella positiva effekter på siktdjupet begränsas. Författarna tror dock att det kontinuerligt höga uttaget av fosfor bidragit till att förbättra sjöns status.

Sjön Pyhäjärvi (155 km², medeldjup 5,5 m), sydvästra Finland, påminner i viss mån om Hjälmarens (stor, relativt grund, näringsrik, samma breddgrad). Där har ett reduktionsfiske skett i yrkesfiskares regi, med uttag av siklöja, nors, mört, gers och andra karpfiskar. Eftersom fisket varit kommersiellt beroende av siklöja ville man dock inte reducera den arten för mycket. Siklöjan anses ha varit periodvis överfiskad vilket minskat det ekonomiska utfallet i fisket (Sarvala et al. 2020; Helminen & Sarvala 2021). Reduktionsfisket skedde mestadels från isen med not för att få bra kvalitet på fisken som i hög grad nyttjats för sjömat, dvs för human konsumtion. Detta gör dock att omfattningen av reduktionsfisket påverkats av isläget. Det är oklart i vilken mån yrkesfiskets uttag bidragit till vattenkvalitetsförbättring i Pyhäjärvi. Sjöns vattenkvalitet tycks inte ha förbättrats, men den har heller inte försämrats. I likhet med Tuusulanjärvi var också den externa tillförseln fortsatt hög, och internbelastning från sedimenten verkade öka (Nurnberg 2012). Fiskets direkta uttag bedöms ha utgjort en väsentlig del av sjöns fosforbudget. Man har uppskattat att fångsterna motsvarat hela den årliga internbelastningen och ca 26 % av den årliga fosforbelastningen och att ekosystemets struktur förbättrats på grund av reduktionsfisket (Ventelä et al. 2007; Nurnberg 2012).

3.1.2. Betydelsen av sjöns storlek och djup

Ett viktigt resultat med stor relevans för ett eventuellt genomförande av reduktionsfiske i Hjälmarens var att effekten av reduktionsfiske på vattenkvalitet minskade med ökad sjöstorlek. Man spekulerar om detta möjligtvis kan förklaras av att det är svårare att effektivt genomföra reduktionsfiske när sjöarnas storlek ökar (Bernes et al. 2015). Betydelsen av sjöstorlek har stöd också av andra studier. Exempelvis Jeppesen et al. (2007) rekommenderar för stora sjöar att inga andra åtgärder utöver att minska tillförseln av näringsämnen bör göras. Orsaken är främst att de flesta åtgärder (som exempelvis reduktionsfiske) inte är kostnadseffektiva i

stora sjöar. Till och med sjöar med en storlek av 180 hektar har bedömts, tillsammans med andra faktorer, vara för stora för framgångsrika reduktionsfiske (Gulati & Van Donk 2002).

Även vattendjup var viktigt, ju grundare sjö desto större sannolikhet för positivt utfall, vilket delvis tillskrivs vegetationens möjlighet att kunna kolonisera nya områden när siktdjupet förbättras. Är sjöarna djupa finns inte samma förutsättningar för makrofyter att etablera sig (Bernes et al. 2015). Djupet på sjöarna som inkluderades i metaanalysen var dock endast mellan 0,7 och 13,5 meter (median 2,1), vilket är grundare än Hjälmarens.

3.1.3. Initial näringshalt

En annan viktig slutsats i flera litteraturstudier är kopplingen till initial näringshalt. Sannolikheten att ett reduktionsfiske ska ge ett positivt utfall är högre i sjöar med en hög initial fosforhalt (halter på 90-220 μg fosfor/l). Även om Hjälmarens inte uppnår vattenförvaltningens mål så är fosforhalten i detta sammanhang relativt låg. I de flesta av Hjälmarens bassänger är halterna lägre (40-80 μg fosfor/l).

3.1.4. Reduktionsfiskets omfattning och varaktighet

Generellt kan sägas att ju mer omfattande ett reduktionsfiske är, desto större blir effekten på vattenkvaliteten (Bernes et al. 2015). Positiva effekter på både siktdjup och klorofyll *a* uppnåddes först i genomsnitt för reduktionsfiske med ett uttag >70 kg/ha och år. Att extrapolera detta till Hjälmarens ca 48 000 hektar skulle innebära att man minst behöver ta bort ca 3 350 ton fisk per år (Fig 15 i Bernes et al. 2015). Effekten blev starkare ju större uttaget var. I metaanalysen fanns exempel på uttag upp till dryga 700 kg/ha och år, vilket skulle motsvara nästan 34 000 ton i Hjälmarens. För att förbättra siktdjupet med 0,5 m beräknades det dock behövas ett uttag om cirka 300 kg/ha och år, vilket för Hjälmarens skulle motsvara ett totalt uttag om omkring 14 500 ton per år (men med okänd varaktighet, Fig 15 i Bernes et al. 2015).

Uttryckt som en relativ andel av biomassan uppnåddes positiva effekter på siktdjupet (1-3 år efter åtgärden) vid uttag som var större än ca 30 % av bestånden (Bernes et al. 2015). Även här uppnåddes högre effektivitet med högre andel uttag, upp till 100 %, vilket i genomsnitt inneburit 1,5 m förbättring av siktdjupet. För att med säkerhet uppnå 0,5 m förbättring av siktdjupet bör biomassan fisk reduceras med minst 60 % (Fig 16 i Bernes et al. 2015). Utifrån det lägsta estimatet i kohortanalysen (se 3.4.1), à 800 ton i kombination med skattningen av biomassa av övriga karpfiskar à cirka 890 ton skulle det för Hjälmarens del innebära ett minsta reduktionsbehov av cirka 1 010 ton per år. Utgår man istället från det högsta estimatet i kohortanalysen à 2 080 ton i kombination med estimatet för övriga

karpfiskar á cirka 890 ton så blir högsta reduktionsbehov i detta scenario 1 780 ton per år (men med okänd varaktighet).

En annan metod för att räkna ut vilken mängd fisk per hektar som bör fiskas bort är att som Jeppesen och Sammelkorpi (2002) utgå från befintlig fosforhalt. De rekommenderar att man använder följande samband för att skatta minimiuttag: Rekommenderad fångst i kg per ha och år = $6,9 TP^{0.52}$ (TP = totalfosforhalt i mikrogram per liter). För Hjälmmaren skulle det innebära ett årligt uttag av 6 259 ton per år.

Ytterligare en metod för att bedöma vilken omfattning som kan krävas är att utgå från litteraturen och praktiska exempel. I den estländska sjön Võrtsjärv, en sjö som i många avseenden påminner om Hjälmmaren, skattades biomassan av de viktigaste fiskarterna med hjälp av trålning (Öglü et al. 2020; Bhele et al. 2020). Den summerade biomassan av björkna och braxen har där varierat kraftigt över tid från cirka 40 till 130 kg per hektar, med ett ungefärligt genomsnitt på 80 kg/ha. Den totala biomassan av arter som brukar vara målarter för reduktionsfiske (braxen, mört, gers, björkna, nors och benlöja) var i genomsnitt 130 kg/ha. I den mycket eutrofa finska sjön Tuusulanjärvi som nämnts tidigare (dubbla fosforhalten jämfört med Hjälmmaren) har man använt en slags snörpvad (purse seine) och beräknat biomassan fisk till 149 kg/ha. Biomassan karpfisk var 45 kg/ha. Vid själva reduktionsfisket fiskade man dock upp hela 197 kg/ha, vilket alltså var mer än den beräknade fiskbiomassan, vilket illustrerar att skattningar av biomassa oftast underskattar den sanna biomassan (Rask et al. 2020).

De flesta uppföljande studier har pågått i åtminstone tre år efter att reduktionsfisket har genomförts. Långtidsstudier av effekterna av reduktionsfiske är dock färre. Därför dras slutsatsen att det är svårt att bedöma hur länge man kan förvänta sig att eventuella effekter av ett reduktionsfiske varar (Bernes et al. 2015). Det finns flera exempel på sjöar där man fått upprepa reduktionsfisket efter att sjön återgått till tidigare status med grumligt vatten och sämre vattenkvalitet, till exempel Ringsjöarna, Finjasjön och danska Vaeng (Søndergaard et al. 2008). Det finns också exempel på sjöar där effekten av reduktionsfiske varit mer varaktig (Bernes et al. 2015). För Hjälmmaren är det därför svårt att bedöma inte bara om, utan också hur länge, en eventuell effekt av ett potentiellt reduktionsfiske skulle kunna hålla i sig.

3.2. Biomassa fisk i Hjälmlaren

3.2.1. Hydroakustik

Tråldragen från Storhjämlaren dominerades av fyra ”arter”, braxen/björkna, adult gös (gös $\geq 1+$) samt nors (Tabell 3). Den beräknade biomassan av fisk för områden djupare än 9 meter var 45 ± 20 kg/ha, vilket uppräknat till hela ytan i Hjälmlaren djupare än 9 m (nästan 142 km^2) motsvarar totalt nästan 400 ton.

Tabell 3. Beräknad biomassa (kg/ha \pm 95 % konfidensintervall) samt beräknad total biomassa (ton) av ett urval arter samt totalt för alla arter i Storhjämlaren baserat på tråldrag på områden i Hjälmlaren med djup överstigande 9 m i samband med hydroakustiska undersökningar.

	Biomassa (kg/ha)	Biomassa (ton)
Braxen/Björkna	$19,65 \pm 19,63$	$174 \pm 173,8$
Gös $\geq 1+$	$13,3 \pm 9,3$	117 ± 82
Nors $\geq 1+$	$1,8 \pm 1,6$	16 ± 14
Nors 0+	$9,6 \pm 6,3$	85 ± 56
Total	$45,1 \pm 19,6$	399 ± 173

3.2.2. Nätprovfiske

Standardiserade nätprovfisken visade på varierande fångster både inom olika delar av Storhjämlaren och även jämfört med Mellanfjärden (Tabell 4). För hela Storhjämlaren (exkl. Södra Hjälmlaren) ger provfiskefångsten i kombination med arealen 27 647 hektar en beräknad totalbiomassa på närmare 3 000 ton, för de arter som fångas i ett standardiserat nätprovfiske med nättypen Bkust9+2. För Mellanfjärden ger motsvarande fisken med nättypen Bkust9 och arealen 3 858 hektar en totalbiomassa på nästan 300 ton (Tabell 4).

Sett till tätheten biomassa var mängden braxen/björkna något högre i Mellanfjärden än Storhjämlaren men den totala mängden cyprinider var ändå högre i Storhjämlaren. Bland rovfiskarna var mängden abborre högre i Storhjämlaren medan gädda och gös hade en högre relativ biomassa i Mellanfjärden (Tabell 4). Uppräknat till total biomassa var det minst 3 020 ton i Storhjämlaren och 282 ton i Mellanfjärden.

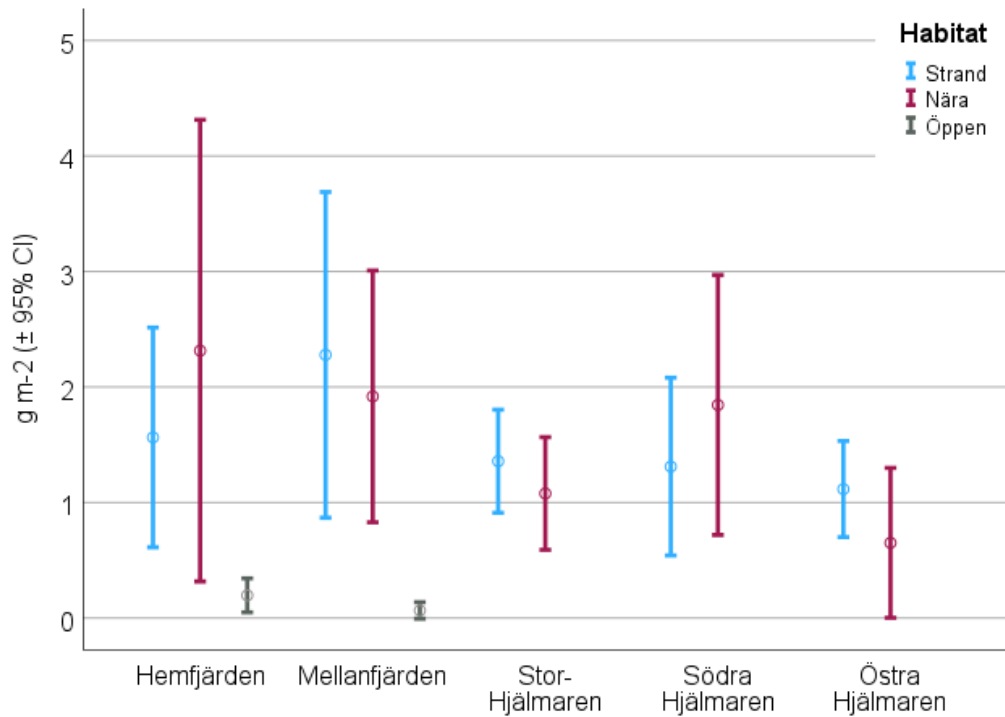
Tabell 4. Beräknad biomassa per ytenhet (kg/ha \pm 95 % konfidensintervall, KI) samt beräknad total biomassa (ton \pm 95 % KI) av arter och artgrupper per lokal och för Storhjälmaren som helhet samt för Mellanfjärden som helhet baserat på nätprovfisken. Lokalen NV är beräknad från provfiske 2009-2011 och SO 2013, 2016, 2019 och 2022 med mellan 24 och 32 nät per lokal och år. Mellanfjärden fiskades 2006 och 2008 med 12 och 36 nät. Omräkningsfaktor från nätprovfiske till biomassa per hektar har hämtats från Heibo & Karås 2005.

	Kg/ha (\pm KI)				Total biomassa (ton \pm KI)	
	Stor-hjälmaren NV	Stor-hjälmaren SO	Stor-hjälmaren	Mellan-fjärden	Stor-hjälmaren	Mellan-fjärden
Abborre	25,5 \pm 4,7	49,1 \pm 8,1	37,3 \pm 6,4	3,4 \pm 1	1031 \pm 178	13 \pm 4
Benlöja	1,6 \pm 0,7	1 \pm 0,4	1,3 \pm 0,6	3 \pm 1,7	37 \pm 16	11 \pm 7
Braxen/ Björkna	34,3 \pm 5,3	22,8 \pm 2,6	28,6 \pm 4	37,8 \pm 5,3	790 \pm 110	146 \pm 21
Gers	7,6 \pm 1,2	7,1 \pm 1,5	7,4 \pm 1,4	3 \pm 0,6	204 \pm 38	12 \pm 2
Gös	9,5 \pm 2,5	5,7 \pm 1,7	7,6 \pm 2,1	21,5 \pm 13,8	210 \pm 58	83 \pm 53
Mört	20,5 \pm 5,4	29,2 \pm 5,4	24,9 \pm 5,4	1,9 \pm 1,8	687 \pm 150	7 \pm 7
				0,1 \pm 0,4		1 \pm 2
Nors	0,2 \pm 0,1	0,6 \pm 0,4	0,4 \pm 0,3	0 \pm 0	11 \pm 7	0 \pm 0
Gädda		0,7 \pm 0,9		2 \pm 5	10 \pm 24	8 \pm 19
Lake		0,2 \pm 0,6			3 \pm 16	
Nissöga		*låg täthet			* låt täthet	
Cyprinider	57,9 \pm 8,6	54,3 \pm 4,9	56,1 \pm 6,7	43,1 \pm 7,7	1551 \pm 186	166 \pm 30
Total	100,6 \pm 11,9	117,8 \pm 10,8	109,2 \pm 11,4	73 \pm 15	3020 \pm 314	282 \pm 58

3.2.3. Båtefiske

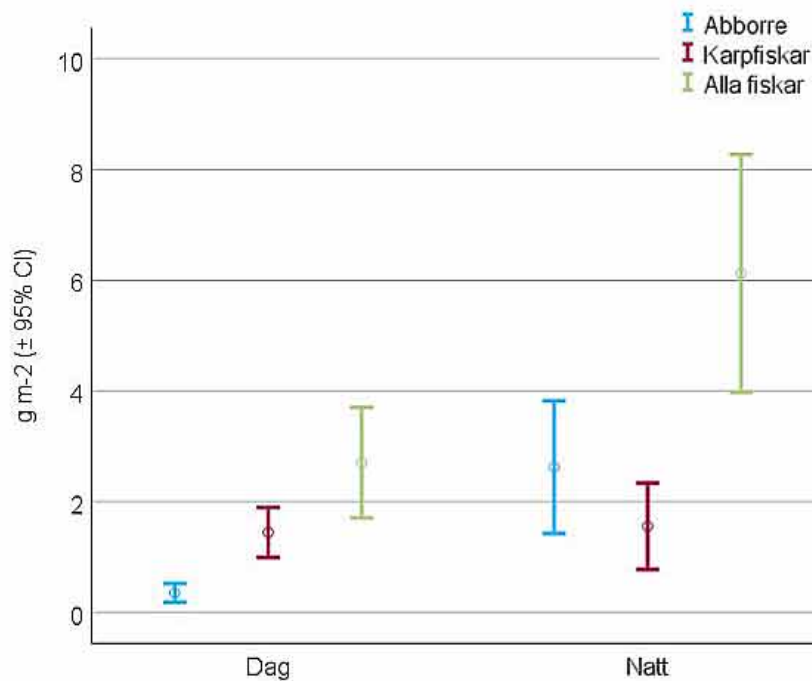
Totalt fångades 573 kg fisk. Ytterligare 107 kg observerades men fångades ej. Hela 18 olika arter registrerades. Ett urval av de fångade fiskarna längdmättes, totalt 2 233 stycken. Ytterligare ett mindre antal fiskar, 72 stycken, vägdes individuellt.

Braxen, gädda och abborre var dominerande arter. Av de tre habitat som undersöktes var det ingen statistiskt säkerställd skillnad i biomassan av karpfisk mellan de två strandnära miljöerna (Figur 4; Kruskal-Wallis test Strand vs Nära; $p=0,139$). Det var dock väsentligt lägre skattade biomassor av karpfisk i de öppna habitaterna (drygt 90 % lägre; Kruskal-Wallis test Strand vs Öppen och Nära vs Öppen; $p<0,001$), ett mönster som gällde alla arter utom benlöja och gös (Tabell 5).



Figur 4. Biomassa karpfiskar (medel \pm 95 % konfidensintervall) fångade med båtelfiske på olika avstånd från stranden och i olika delområden i Hjälmaren. Undersökningen genomfördes i april/maj, juli och augusti. Mera detaljer om tillvägagångssätt och resultat finns i Thorvfe, 2024. Observera att biomassan uttrycks i g per m².

I försöket med nattfiske var den skattade biomassan fisk högre på natten än på dagen (Figur 5; Mann-Whitney U-test, $z=-3,486$, $p<0,001$). Skillnaden berodde på att det fångades mer abborre och gös nattetid. Särskilt den ökade fångsten av abborre (fler och större) nattetid bidrog till skillnaden i total fångst. För karpfiskar fanns ingen tydlig effekt av tid på dygnet (Mann-Whitney U-test, $z=-1,416$, $p=0,157$).



Figur 5. Biomassa karpfiskar, abborre och total biomassa fiskar fångade med båtelfiske på natten respektive dagen i Hjälmarén. Testet med båtelfiske på olika tidpunkter under dygnet genomfördes på 20 lokaler i Storhjälmaren, Södra Hjälmarén och Östra Hjälmarén i juli och augusti månad. Mera detaljer om tillvägagångssätt och resultat finns i Thorvfe, 2024. Observera att biomassan uttrycks i g per m².

Biomassan fisk var 40 ± 5 kg/ha i de strandnära områdena i Hem- och Mellanfjärden samt 32 ± 3 kg/ha i Storhjälmaren och Östra Hjälmarén. I det öppna habitatet i Hem- och Mellanfjärden var tätheten lägre, $2,3 \pm 2,6$ kg/ha (Tabell 5).

Trots en högre täthet av fisk i strandnära miljöer i Hem-/Mellanfjärden än i Storhjälmaren är den totala biomassan fisk högre i Storhjälmaren (Tabell 6), vilket beror på att arealen är så pass mycket högre där (1 625 ha jämfört med 357 ha). På motsvarande sätt summerar de relativt låga tätheterna i öppna miljöer i Hem-/Mellanfjärden till en relativt hög total biomassa (60 % av de strandnära miljöerna).

Tabell 5. Beräknad biomassa per ytenhet (kg/ha ± ett standardfel) av fisk i Hjälmarén baserat på undersökningen med båtelfiske. Skattningen baseras på en undersökning genomförd i april/maj, juli och augusti 2023 i samtliga delområden i Hjälmarén.

	Hem-/Mellanfjärden Strandnära	Hem-/Mellanfjärden Öppet	Storhjälmaren/Ö. Hjälmarén Strandnära
Abborre	223 ± 0,6	0,04 ± 0,015	7,34 ± 1,23
Benlöja	0,076 ± 0,02	0,23 ± 0,25	1,38 ± 0,31
Braxen/Björkna	15,91 ± 1,62	0,71 ± 0,27	5,14 ± 9,36
Flodnejonöga	0	0	*låg täthet
Gers	0,20 ± 0,07	0,03 ± 0,10	0,245 ± 0,06
Gädda	16,6 ± 3,23	0,37 ± 1,70	11,22 ± 1,52
Gös	0,37 ± 0,21	0,54 ± 1,08	0,497 ± 0,31
Lake	0,01 ± 0,05	0	0,18 ± 0,05
Mört	0,88 ± 0,21	0,046 ± 0,13	1,66 ± 0,28
Nissöga	0	0	*låg täthet
Nors	0	*låg täthet	0
Ruda	0	0	0,137 ± 0,12
Signalkräfta	0,11 ± 0,06	0	0,11 ± 0,08
Sarv	0,228 ± 0,07	0	0,38 ± 0,18
Småspigg	*låg täthet	0	0
Stensimpa	0	0	0,004 ± 0,003
Sutare	1,83 ± 0,69	0	2,11 ± 0,62
Karpfiskar obest	0,88 ± 0,21	0,33 ± 0,266	1,56 ± 0,67
Abborrfiskar obest	0	*låg täthet	0,059 ± 0,051
Karpfiskar	20,1 ± 2,93	1,31 ± 1,99	12,36 ± 1,21
Totalt	39,59 ± 4,72	2,30 ± 2,62	31,95 ± 2,64

Tabell 6. Total biomassa av fisk baserat på undersökningen med båtelfiske (Tabell 5). Arealen som använts för uppräknig var för strandnära i Hem-/Mellanfjärden 357 ha, öppet vatten i Hem-/Mellanfjärden 4 076,9 ha och för strandnära i Storhjälmaren/Ö. Hjälmaren 1 625 ha.

	Hem- /Mellanfjärden Strandnära	Hem- /Mellanfjärden Öppet	Storhjälmaren/Ö. Hjälmaren Strandnära
Abborre	0,8	0,2	11,9
Benlöja	0,0	0,9	2,2
Braxen/Björkna	5,7	2,9	8,4
Flodnejonöga			*låg täthet
Gers	0,1	0,1	0,4
Gädda	5,9	1,5	18,2
Gös	0,1	2,2	0,8
Lake	0,0		0,3
Mört	0,3	0,2	2,7
Nissöga			*låg täthet
Nors		*låg täthet	
Ruda			0,2
Signalkräfta	0,0		0,2
Sarv	0,1		0,6
Småspigg	*låg täthet		
Stensimpa			0,0
Sutare	0,7		3,4
Karpfiskar obest	0,3	1,3	2,5
Abborrfiskar obest		*låg täthet	0,1
Karpfiskar	7,2	5,3	20,1
Totalt	14,1	9,4	51,9

3.3. Nuvarande uttag

3.3.1. Yrkesfiske

Yrkesfisket i Hjälmaren är baserat på gös (133 ton år 2023), signalkräfta (63,4 ton), gädda (23 ton), abborre (21,6 ton) och ål (6,4 ton). De totala landningarna i yrkesfisket har varit stabila och legat på cirka 350 ton per år den senaste 10-årsperioden. Givet ett antagande om att fångad fisk (och skaldjur) innehåller 0,8 % fosfor innebär det att 2 800 kg fosfor tas bort från sjön via yrkesfisket årligen. Den rapporterade fångsten av karpfiskar var tidigare obetydlig men har sedan 2015 ökat. Det är dock oklart om detta beror på att fångsterna faktiskt är högre eller att fiskare numera är mer benägna att rapportera fångst av karpfisk. Totalt var fångsten av karpfiskar år 2023 76,3 ton (motsvarande 600 kg fosfor). De arter som i första hand

fångas är braxen (66,4 ton år 2023), mört (6,5 ton), björkna (0,9 ton), sutare (0,8 ton), asp (0,8 ton), faren (0,4 ton), ruda (0,2 ton), färna (0,1 ton) och sarv (0,1 ton). Fångsten tas i första hand som bifångst i gösbottengarn. En del av karpfisken säljs för humankonsumtion och en del används som bete i fisket efter signalkräfta. En viktig aspekt om fångsten används som bete är att det i så fall inte sker någon nettoexport av fosfor ur sjön. Det kan dock minska behovet av att eventuellt använda bete från närliggande sjöar i samma vattensystem.

3.3.2. Fritidsfiske

Totalfångster av braxen i Hjälmarens var för osäkra för att redovisas, men antas vara relativt låga. Totalfångster av abborre var 35 ± 25 (95 % konfidensintervall) ton och gädda 61 ± 50 ton per år. Behållen fångst var 15 ± 13 ton abborre och $3,3 \pm 2,6$ ton gädda. Det största fisket som bedrivs är efter signalkräfta och gös. Behållen fångst för signalkräfta var 215 ± 197 ton per år, vilket med en rapporterad återutsättningsgrad mellan 48 och 67 % indikerar att totalfångsterna var ungefär 2,2 gånger högre (481 ton, men konfidensintervallet överlappar noll).

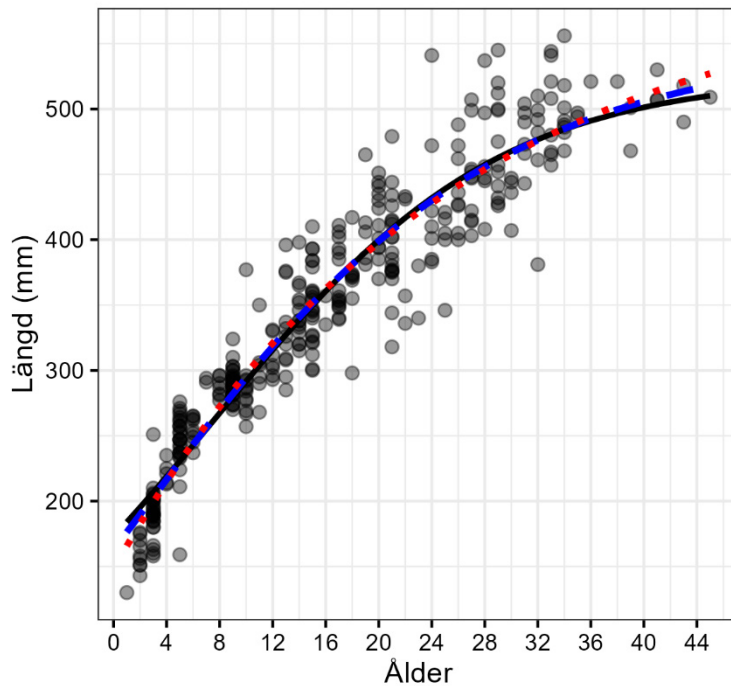
För gös var återutsatt fångst 23 ± 17 ton per år, vilket med en rapporterad återutsättningsgrad mellan 6 och 27 % indikerar att totalfångsterna var omkring 6,2 gånger så stora (145 ton, men konfidensintervallet från direktskattningen av totalfångsterna överlappar noll).

Sammantaget innebär detta att behållen fångst inom fritidsfisket, som tas ur sjön, motsvarar omkring 2 800 kg fosfor, det vill säga samma mängd som yrkesfisket. Osäkerheten i skattningarna av fritidsfiskets fångster är dock större än yrkesfiskets (utifrån konfidensintervallen kan mängden fosfor som tas ut i form av behållen fångst ungefärligt beräknas till maximalt 5 500 kg).

3.4. Åldersstruktur och könsmognad hos braxen insamlad från yrkesfisket

Åldern på de analyserade braxarna var överraskande hög, med en maxålder på 45 år (51 cm). Den största individen var 55,6 cm och hade en ålder på 34 år. Som ett genomsnitt för beståndet (alla längdmätta braxnar i fångsten) var medianlängden 34 cm, vilket enligt tre olika tillväxtmodeller motsvarar ungefär 15 års ålder (Figur 6, se också Fiskbarometern.se). Tillväxten och den teoretiska maxlängden där tillväxten avtar (L_{inf}) var mellan 57 och 66 cm enligt von Bertalanffy tillväxtmodell, mellan 53 och 58 cm enligt Gompertz tillväxtmodell och mellan 51 och 55 cm med logistisk tillväxt (95 % konfidensintervall).

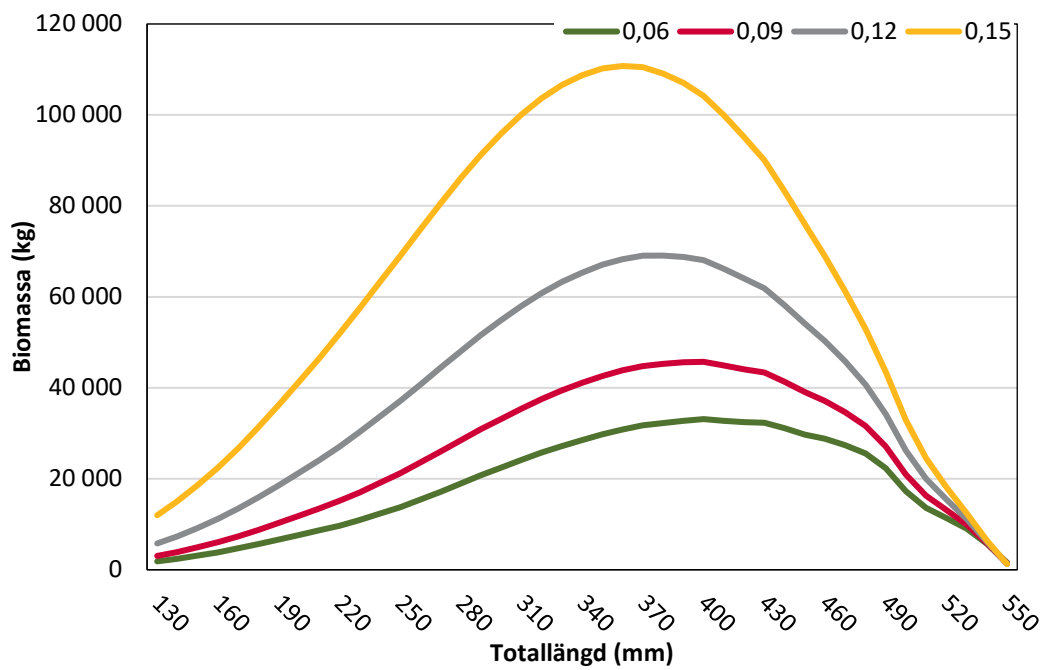
Baserat på modellerna för könsmognad förväntas 50 % av braxarna i Hjälmarén vara könsmogna vid 49 cm och hela 31 års ålder. Den individen som bedömdes bli könsmogen vid tidigast ålder var 16 cm och 5 år gammal.



Figur 6. Längd vid ålder och beräknad tillväxt för braxen insamlad från yrkesfisket i Hjälmarén 2023 (347 individer från nio lokaler). Punkterna, delvis genomskinliga, representerar enskilda individer och linjerna tre olika tillväxtmodeller. Röd streckad linje är baserad på von Bertalanffys tillväxtmodell, blå streckad linje på Gompertz och svart heldragen linje är en logistisk tillväxtmodell.

3.4.1. Kohortanalys braxen

Skattad biomassa av braxen varierade, beroende på antaganden om naturlig dödlighet (Figur 7). Biomassan beräknades vara 800-2 080 ton. Den mest troliga biomassan, givet medelvärdet för de olika skattningarna av naturlig dödlighet ($M=0,093$), var 1 040 ton (se 3.1.4 för beräkning av teoretiskt reduktionsbehov baserat på dessa resultat).



Figur 7. Beräknad biomassa per längdgrupp av braxen i Hjälmarén baserat på kohortanalys. Fyra olika scenarier anges med varierande dödlighet ($M=0,06-0,15$). Den totala biomassan motsvaras av ytan under kurvan.

3.5. Sammanfattning biomassa

För att bedöma vad som är potentiella tillräckliga uttag av fisk i samband med reduktionsfiske har vi försökt summera estimaten av biomassa från olika metoder, delområden och livsmiljöer. De flesta fiskundersökningar har företagits i Storhjälmaren och Mellanfjärden. Det till ytan största och därmed fiskrikaste området är djupzonen 6-12 m djup i Storhjälmaren (observera att detta avser vattenförekomsten inklusive Södra Hjälmaren), det utgör nästan 40 % av den totala sjöytan. I detta område finns data från nätprovfisken och trålning. De strandnära habitaterna som täckts med båtelfiske är sannolikt produktiva men deras yta (4 % av den totala sjöytan) är förhållandevis liten. För vissa delområden saknades data från nutida, jämförbara undersökningar (Östra Hjälmaren, med undantag av strandnära områden och de djupaste delarna av Hemfjärden). För dessa har vi beräknat och summerat biomassa baserat på resultat från motsvarande djup/habitat i jämförbara delområden (för Östra Hjälmaren används estimaten från Storhjälmaren och för Hemfjärden från Mellanfjärden). Eftersom det för djupzonen 9-22 m i Storhjälmaren finns överlappande skattningar via två undersökningsmetoder (nätprovfiske/trålning) redovisar vi tre olika beräkningar:

1. endast data från nätprovfiske för djupzonen 9-22 meter,
2. endast trålning för djupzonen 9-22 meter samt
3. skattningar med trålning och nätprovfiske adderas.

Det sista alternativet, att summera skattningar från de två undersökningsmetoderna bygger på ett antagande om att undersökningarna riktas mot fisk som uppehåller sig i olika habitat (pelagiskt respektive bottennära). Summerat för hela sjön är den totala fiskbiomassan mellan 3 800 och 5 100 ton och den totala biomassan karpfisk mellan 1 900 och 2 600 ton. Det bör understrykas att dessa siffror är osäkra. Summeringen av biomassan av braxen kan jämföras med motsvarande skattningar i kohortanalysen. Uppräknad biomassa av braxen utifrån undersökningarna är av ungefär samma magnitud som den är i kohortanalysen (1 100-1 500 ton jämfört med 800-2 080 ton) vilket kan indikera att uppräknad biomassa är på en realistisk nivå.

Tabell 7. Summering av skattningar av total biomassa fisk samt total biomassa karpfisk i Hjälmaren baserat på olika datakällor (färgkodade). Tabellen anger beräknad biomassa från olika undersökningar och djupzoner/habitat. För djupzonen 9-22 m finns data från två olika undersökningar (nätprovfiske och trålning). Därför anges tre olika totalsummor: 1. skattning via endast nätprovfiske i djupzonen 9-22 m, 2. skattning endast via trålning i djupzonen 9-22 m. 3. skattning genom att addera trålning och nätprovfiske i djupzonen 9-22 m. Ytan av olika habitat/djupzoner har tagits från Håkanson (1978) med undantag från ytan av det strandnära habitatet som beräknats i en GIS-analys.

Vattenförekomst	Djup/habitat	Area (ha)	Total biomassa (ton)	Biomassa karpfisk (ton)
Hemfjärden	Strandnära	168	7	3
Hemfjärden	1-2 (öppet)	2369	5	3
Hemfjärden	2-2,6	4	0,3	0,2
Mellanfjärden	Strandnära	190	8	4
Mellanfjärden	1-2 (öppet)	1706	4	2
Mellanfjärden	2-3	1962	143	85
Mellanfjärden	3-3,2	155	11	7
Storhjälmaren	Strandnära	1409	45	17
Storhjälmaren	1-3	6338	692	356
Storhjälmaren	3-6	7145	780	401
Storhjälmaren	6-9	11151	1218	626
Storhjälmaren	9-12	7722	843 / 348	433 / 152
Storhjälmaren	12-15	2342	256 / 106	131 / 46
Storhjälmaren	15-18	1277	139 / 58	72 / 25
Storhjälmaren	18-21	169	8	3
Storhjälmaren	21-22	2	0,1	0,04
Östra Hjälmaren	Strandnära	216	7	3
Östra Hjälmaren	1-3	937	102	53
Östra Hjälmaren	3-6	1523	166	85
Östra Hjälmaren	6-9	756	83	42
Östra Hjälmaren	9-12	204	22 / 9	11 / 4
Östra Hjälmaren	12-15	114	12 / 5	6 / 2
Östra Hjälmaren	15-18	29	3 / 1	2 / 1
Östra Hjälmaren	18-21	9	0,4	0,2
Hela Hjälmaren	Σ PROVVISKE (9-22 m djup)		4556	2345
Hela Hjälmaren	Σ TRÅLNING (9-22 m djup)		3807	1920
Hela Hjälmaren	Σ TRÅL+PROVVISKE hopslaget		5083	2575

Båtelfiske
Nätprovfiske
Nätprovfiske / Trålning
Trålning
Undersökningar saknas

4. Diskussion

4.1. Omfattning, förutsättningar och förväntade effekter

4.1.1. Omfattande utfiskning skulle krävas

En genomgående erfarenhet i de flesta studier vi tagit del av är att utfiskningen bör vara mycket omfattande för att den ska ge positiva effekter på vattenkvalitet, särskilt i början av ett reduktionsfiske. Baserat på exempel och sammanställningar från litteraturen har omfattning på tidigare reduktionsfisken varierat stort. Från 17 kg/ha och år (Vallentunasjön) upp till nästan 200 kg/ha och år (Tuusulanjärvi) i Skandinavien och upp till över 700 kg/ha och år i internationella exempel (Bernes et al. 2015). Baserat på resultat från metaanalysen och formler som utgår från fosforhalter (Jeppesen & Sammelkorpi 2002) blir beräknade uttag av karpfiskar för Hjälmaran 14 500 ton per år (för att förbättra siktdjupet med 0,5 m) respektive 6 300 ton per år (utgående från befintlig fosforhalt). Att rekommenderade uttag för Hjälmaran hamnar högt när de baseras på tumregler och nyckeltal från litteraturen beror delvis på att Hjälmaran är så mycket större än de sjöar som underlagen för beräkningarna baseras på, men troligen också på att mängden fiskbiomassa ofta underskattas eftersom provfiskemetoderna inte är 100 % effektiva (Rask et al. 2020). Även om både beräkningar av den stående biomassan fisk och uttagsbehoven i Hjälmaran är osäkra indikerar de att det skulle krävas reduktionsfisken i en omfattning som med råge överstiger det befintliga fiskets totala landningar.

En omfattande utfiskning kommer att innebära stora utmaningar. Helst ska utfiskningen dessutom göras "snabbt" och med kraftig insats från början för att undvika att kompensatoriska mekanismer snabbt suddar ut resultaten av utfiskningen (Hansson 1998). Detta blir sannolikt svårt att uppnå i Hjälmaran på grund av sjöns storlek. Hjälmaran är mellan 12-80 gånger större än de hittills största sjöarna där man bedrivit reduktionsfiske i Sverige. Det handlar således om ett reduktionsfiske som kräver en ansträngning och ett fångstuttag som vida överstiger tidigare reduktionsfisken både i Sverige och andra europeiska länder. Det är också viktigt att man i ett reduktionsfiske fiskar bort både pelagisk och bentisk fisk

(Jeppesen et al. 2007). Detta innebär att man sannolikt måste använda en kombination av redskap/metoder, inklusive särskilda båtar anpassade för trålning, vilket kan göra utfiskningen praktiskt svårare. Utfiskning av pelagiska arter kan bli ytterligare problematiskt just i Hjälmaren på grund av norsens osäkra status, betydelse för ekosystemet och känslighet för klimatförändringar (Axenrot & Rogell 2021; Axenrot & Degerman 2024).

En annan utmaning med ett storskaligt reduktionsfiske är att det kräver tillstånd från de myndigheter som förvaltar fisket. För att kunna använda effektiva fångstmetoder behövs dispenser från gällande regelverk om fiskets bedrivande. Skulle reduktionsfiske ges samtliga av de tillstånd och dispenser som krävs är dessa endast tillämpbara på de allmänna vattnen (där staten kan ge undantag för annars otillåtna redskap och redskapsmängder). En stor andel av Hjälmarens vatten är enskilda (Figur 8), vilket innebär att reduktionsfiske sannolikt endast kan bedrivas på allmänt vatten i de djupare delarna av Storhjälmaren (inklusive delar av Södra Hjälmaren), vilket gör det svårt att nå den effektivitet som krävs.



Figur 8. Karta över allmänt och enskilt vatten i Hjälmaren samt frifiskezon i Mellanfjärden. Källa: Länsstyrelsen i Örebro län, se också svenskafiskeregler.se.

Hamrin (1999) framhåller i sin personliga beskrivning av erfarenheter från Ringsjöarna och Finjasjön utmaningen att fånga stora mängder fisk på kort tid och vikten av att ha en “genomtänkt organisation” för hanteringen av de stora fångsterna. Om det var en utmaning att skapa dessa förutsättningar i Ringsjöarna med en total fångst på 220 ton mellan åren 1989-1992 (Hansson, 1998) är det rimligt att anta att det blir en mycket stor utmaning att bedriva storskalig och kostnadseffektiv utfiskning av Hjälmaren som är nästan 25 gånger större än de två delbassänger som reduktionsfiskades i Ringsjöarna. Förutom de kostnader som är förknippade med infrastrukturen kring reduktionsfisket krävs också att ett omfattande övervakningsprogram etableras för att det ska vara möjligt att bedöma

om åtgärden ger effekt och vilka effekter som i så fall uppstår. Ett sådant program bör därtill pågå några år innan reduktionsfisket initieras och innehålla flertalet olika parametrar. Vissa undersökningar finns redan på plats men många av dessa behöver utökas och fler tillkomma:

- Årliga undersökningar av fisk (sker endast var tredje år i dag) i fler vattenförekomster (endast Storhjälmaren i dag),
- Sammanställning av statistik från reduktionsfisket,
- Mer omfattande data från övrigt fiske än vad som rapporteras idag (utökad rapportering riktad på karpfiskar, inklusive säkrare skattningar av fritidsfiskets fångster),
- Utökad provtagning och analys av vattenkemi (sker idag årligen men kan behöva utökas med fler prover för att bättre kunna följa olika delområden och tider på säsongen),
- Provtagning och analys av bottensediment avseende fosforinnehåll,
- Mer data på växtplankton (sker idag årligen men behöver utökas med fler prover för att bättre kunna följa olika delområden och tider på säsongen),
- Djurplankton (saknas idag),
- Utökad provtagning av bottenfauna (sker endast var tredje år idag på ett fåtal platser),
- Årlig inventering av fågelskär (istället för vartannat år) och
- Makrofytinventeringar (saknas idag).

4.1.2. Dåliga förutsättningar för att reduktionsfiske ska lyckas

Vår genomgång av tidigare erfarenheter av reduktionsfiske med syfte att förbättra vattenkvalitet i övergödda sjöar visade att det finns belägg för att metoden kan bidra till att förbättra miljön i små och grunda sjöar men att det helt saknas erfarenheter från sjöar av Hjälmarens storlek. Det saknas också gedigna utvärderingar av reduktionsfiske i sjöar på Hjälmarens breddgrad – de enda jämförbara studier som finns härrör från Finland och resultaten från dem är svårtolkade.

Förutom svårigheter med sjöns storlek finns även andra faktorer som påverkar förutsättningarna att lyckas. Utöver Hjälmarens relativt låga fosforhalt i förhållande till de höga halterna i exemplen med positivt utfall har djup och vegetation en viktig roll att spela. En tumregel är att mer än halva sjöytan ska kunna (re)koloniserars av

undervattensvegetation för att biomanipulation ska lyckas (Reynolds 1994). I Hjälmmaren som helhet är det tveksamt om detta kriterium uppnås. Dessa förutsättningar finns sannolikt i Hem- och Mellanfjärden men knappast i Storhjälmaren och Östra Hjälmmaren vilka delvis är för djupa och därtill har för stora inslag av stenbotten, vilket i kombination med den nuvarande vattenståndsregleringen kan vara mindre fördelaktigt för etablering av täta bestånd av vattenväxter (Örnberg & Kyrkander 2021).

Det är därtill relativt vanligt att delar av Hjälmmaren får grumligt vatten på grund av att lerbottnar eroderas och partiklar resuspenderas i samband med blåst. Detta har tagits upp av Rask et al. (2020) som en faktor vilken kan minska sannolikheten för att ett reduktionsfiske får positiva effekter på vattenkvaliteten.

Flertalet studier hävdar att reduktionsfiske har större möjligheter att bli framgångsrikt i sjöar med låg retentionstid (snabb vattenomsättning). I metaanalysen av Bernes et al. (2015) var den genomsnittliga retentionstiden för sjöar som fick en positiv effekt på klorofyll *a* 78 dagar (22-275 dagar 95 % konfidensintervall), medan den för sjöar som inte svarade på reduktionsfisket var 210 dagar (103-408 dagar 95 % konfidensintervall). Hjälmmarens omsättningstid är 3,4 år (1241 dagar) vilket får anses högt i sammanhanget. En möjlig förklaring till att sjöar med långsamt vattenutbyte inte svarar på reduktionsfisken kan vara den interna fosfordynamiken (Bernes et al. 2015).

4.1.3. Karpfiskarnas status i Hjälmmaren och förväntade effekter av ett reduktionsfiske

Tillväxt, ålder och könsmognad hos braxen

I jämförelse med många andra studier av braxens livshistoria förefaller Hjälmmarbraxen överlag vara långsamväxande, mycket gamla och med sen könsmognad. Braxen har genom åren analyserats avseende ålder i andra mindre sjöar i Sverige (Sundblad et al. 2020b). I vissa sjöar blir braxen gammal med maxåldrar mellan 25 och 35 år. Beroende på lokala förutsättningar kan tillväxten variera kraftigt. Till exempel i Gyslättsjön förväntas en 10 år gammal braxen vara ca 40 cm medan i Fräcksjön förväntas den vara 29 cm, samma som i Hjälmmaren (Sundblad et al. 2020b).

Det finns också äldre undersökningar av braxens tillväxt, som baseras på analyser av fjällprover (Svärdson 1965). Från Hjälmmaren har där angetts att en 10 år gammal braxen förväntades ha en längd av 35,1 cm år 1916 och 36,2 cm år 1964. Utifrån den nya åldersbestämningen baserad på analyser av otoliter (hörselstenar) förväntas en 10 år gammal braxen i dag vara ca 29 cm, vilket indikerar att tillväxten numera är långsammare. Att tillväxten är långsammare förklaras antagligen av att

bestånden inte fiskas så hårt numera (och därmed består av fler individer vilket innebär täthetsberoende effekter), en förklaring som även användes av Svärdsön (1965) för att förklara den försämrade tillväxten jämfört med början på seklet.

I jämförelse med en motsvarande insamling från yrkesfisket i Mälaren var både tillväxten och den teoretiska maxlängden, där tillväxten avtar, liknande i Hjälmarén som i Mälaren (L_{inf} , 95 % konfidensintervall 49-88 cm i Mälaren). I Mälaren föreföll dock braxen bli könsmogna något tidigare (43 cm och 22 års ålder). Bedömning av könsmognad och analys av ålder hos väldigt gamla fiskar kan dock vara svårt och arbete pågår för att kvalitetssäkra resultaten och öka förståelsen av braxens livshistoria i både Hjälmarén och Mälaren.

Biomassa

Karpfiskar utgjorde en relativt stor andel av den uppskattade totalbiomassan i alla undersökningarna. Möjligen är andelen karpfisk av den totala biomassan något lägre i Storhjälmaren än i Hem- och Mellanfjärden. I Storhjälmaren utgjorde braxen/björkna 44 % av den totala pelagiala biomassan, 51 % enligt nätprovfiskena och 39 % i de strandnära, båtelfiskade, områdena. I Mellanfjärden utgjorde karpfiskarna 59 % enligt nätprovfiskena och 51 respektive 57 % av de båtelfiskade strandnära och öppna områdena.

Karpfiskar som grupp utgjordes framförallt av braxen/björkna medan benlöja, mört, ruda, sarv och sutare förekommer mer sparsamt. Tillsammans med nors är de därför sannolikt nyckelarter för sjöns ekosystem.

Förväntade effekter på braxenbeståndet

Den höga åldern på braxen, den långsamma tillväxten och den sena könsmognaden indikerar en lägre dödlighet och högre populationstäthet jämfört med andra områden där fisket är större (Zhang et al. 2016, 2017). Jämfört med Mälaren, där könsmognaden förefaller vara tidigare, är de rapporterade landningarna i yrkesfisket betydligt högre i Hjälmarén. Sammantaget indikerar detta att fisketrycket på braxen i nuläget är hållbart och att det borde vara möjligt att ha ett större uttag. Vad som är ett hållbart uttag på braxen är svårt att beräkna men i estländska sjön Peipsi (5 gånger större sjö) har man bedömt att ett fiske med fångster på drygt 1 000 ton per år är uthålligt men möjligtvis på gränsen till för hårt (Danilov et al. 2020).

Vad som skulle hända med braxenbeståndet i Hjälmarén vid ett eventuellt reduktionsfiske är okänt. En hypotes utifrån generell fiskeriekologi är dock att när ett lågt fiskat bestånd, vilket indikeras av den höga åldern och låga tillväxten, utsätts för ett ökat (och högt) fiske främjas snabbare tillväxt och en ökad produktion (t ex

Rask et al. 2020). Det kan även förväntas leda till att medelåldern minskar, det blir mer småvuxen karpfisk och att könsmognaden sker tidigare (Olin et al. 2006).

4.2. Målkonflikter & riskbedömning

Restaureringsåtgärder som aluminiumbehandling och lågflödesmuddring för att förbättra vattenmiljön i Hjälmaran blir väldigt kostsamma (ca 900 MSEK, Karlsson et al. 2019). Reduktionsfiske syftar till att förändra ekosystemet och uppnå ett alternativt tillstånd. Det innebär också risker för övriga komponenter i sjöns ekosystem och de ekosystemtjänster som vi människor nyttjar. Hänsyn bör därför tas till intressen som fiske, friluftsliv och övriga näringar som är beroende av sjöns ekosystem. Idag finns mål för fiskeriförvaltningen och vattenförvaltningen, men det är inte säkert att dessa mål är förenliga med varandra. Som nämnts tidigare uppfylls inte målen inom vattenförvaltningen, däremot uppfylls de flesta av målen för fiskeriförvaltningen i Hjälmaran som i många år haft ett lönsamt och småskaligt fiske efter framförallt signalkräfta och gös (Blomqvist & Swahnberg 2020). Eftersom gös tenderar att gynnas av låga siktdjup (övergött och grumligt vatten (Sandström & Karås 2002)) riskerar ett reduktionsfiske för att förbättra vattenkvaliteten därmed att hamna i konflikt med fiskförvaltningen.

4.2.1. Näringshalt kontra fiskproduktion

Reduktionsfiske innebär i likhet med andra åtgärder som diskuterats för att förbättra vattenkvaliteten i Hjälmaran att ekosystemet förändras. Lägre fosforhalt, högre siktdjup och mer vattenvegetation leder till en förskjutning i fisksamhällets sammansättning. På grund av skillnader i fysiologiska och ekologiska anpassningar gynnas vissa arter och andra missgynnas. Effekterna av näringstillförsel och produktivitet hos fisk har till exempel studerats både i sjöar och i kustområden. Abborre, gädda och de flesta laxfiskar missgynnas av övergödning medan gers, gös och de flesta karpfiskar gynnas (Hartmann 1977; Leach et al. 1977; Olin et al. 2002; Persson et al. 1991; Sandström & Karås 2002). Produktiviteten påverkar utöver artsammansättningen också det möjliga uttaget i fisket. Därför finns en avvägning mellan näringsbelastning och fiskemöjligheter (Caddy 1993; Sinclair et al. 2023). I lågproduktiva system ger tillskott av näringsämnen ökad produktion som förs uppåt i näringsväven och därmed ökar biomassan av fisk. I högproduktiva system (eutrofa och hypereutrofa) kan däremot ökad näringsbelastning leda till ökad primärproduktion men utan att biomassan fisk ökar. Det beror på att övergödningen gynnar "dåliga" arter av växtplankton, som är potentiellt toxiska och även svåra att bryta ned för djurplankton (t ex cyanobakterier) vilket innebär att en mindre del av produktionen kan komma högre konsumenter och fiskar till godo. Övergödda sjöar kan också få problem med syrefritt bottenvatten vilket minskar den vattenvolym

som är tillgänglig för produktion av fisk (Almeida et al. 2022). Därmed kan man förvänta sig ett generellt samband där produktionen av fisk ökar med ökad fosforhalt upp till en ”optimal” nivå varefter produktionen avtar med ökad näringsbelastning. Fångsten i fisket följer oftast produktionen i sjön och når således även den ett maximum vid en viss halt av fosfor, oftast relativt hög. Planktonätande fisk når en topp vid en högre fosfornivå än bottenlevande fisk, främst för att de lever högre upp i den fria vattenmassan och därmed inte påverkas lika kraftigt av syrebrist nära botten (Almeida et al. 2022; Meyer 2023). Hjälmarens är dock sällan skiktad sommartid (det är en så kallad monomiktisk sjö) vilket innebär att syrerikt vatten når ner till botten och att problem med syrebrist på grund av övergödning under sommarhalvåret blir mindre. Var på sambandet mellan näring och fiskproduktion som Hjälmarens befinner sig är okänt.

4.2.2. Nollalternativ – inget reduktionsfiske

Man kan även hävda att det finns en risk med att inte vidta åtgärder, det vill säga reduktionsfiska för att förbättra vattenkvaliteten. Övervakningen av Hjälmarens miljö, både avseende fysisk provtagning och skattningar med satellitbilder, har visat att Storhjälmarens vatten på senare år blivit mer klart än tidigare. Den uppmätta medelhalten av klorofyll *a* med satellitdata från augusti månad har de två senaste åren varit så lågt som 3,1 µg/l och för hela året 2,8 µg/l. Detta är mycket nära referensvärdet för god ekologisk status på 2,5 och Storhjälmaren är därmed redan i dagsläget mycket nära att klara vattendirektivets krav för parametern klorofyll *a*. Bortsett från vattenförvaltningens krav i sammanhanget bedöms de ekologiska riskerna i ett sådant scenario främst vara kopplade till algblomningar, syrebrist och negativ påverkan på viktiga ekosystemtjänster. Angående algblomningar finns inga rapporter de senaste åren om kända fall av att boskap, husdjur eller människor blivit påverkade av toxiner från algblomningar (Daniel Bergdahl, Länsstyrelsen Örebro pers. komm.). Många av de kvävefixerande arterna samt ytterligare några cyanobakterier som förekommer i Hjälmarens kan dock vara potentiella toxinproducenter (Willén 2001), varför det finns anledning att kontinuerligt övervaka toxinhalter under perioder med kraftiga blomningar. Riskerna med att inte genomföra ett reduktionsfiske kan sammantaget därmed anses låga.

4.2.3. Påverkan på fisket

Det kan inte uteslutas att genomförandet av ett storskaligt reduktionsfiske kan få andra, mer svårförutsägbara konsekvenser för ekosystemet och fisket. Sammantaget kan man säga att det finns en överhängande risk att de totala fångsterna i det licensierade yrkesfisket minskar och att den mest viktiga arten, gös, påverkas negativt av ett reduktionsfiske. Det finns flera studier som visar att gösen

är beroende av relativt hög fosforhalt och därmed hög produktivitet, hög grumlighet samt liten täckningsgrad av undervattensvegetation (Olin et al. 2002; Sandström & Karås 2002; Sundblad et al. 2020a). Ett lyckat reduktionsfiske leder därför sannolikt till att gösen missgynnas. Andra arter som exempelvis gädda och abborre kan dock komma att gynnas ifall reduktionsfisket lyckas (Sundblad et al. 2011). Dessa arter är dock inte i närheten av lika viktiga för yrkesfisket som gösen (Blomqvist & Swahnberg 2020). Gös är också en viktig art för fritidsfisket och utgör en viktig ekosystemtjänst för de omkring 14 000 personer som årligen fiskar i sjön (95 procent konfidensintervall 6 000 - 22 000 personer per år, enkätundersökningar från Havs- och vattenmyndigheten och Statistikmyndigheten SCB för åren 2021-2023). Risken att fisket (efter gös) påverkas negativt belyser den målkonflikt som finns mellan hänsyn till fiskets betydelse och nuvarande mål om förbättrad vattenkvalitet inom vattenförvaltningen.

Det finns samtidigt ett behov av att öka den inhemska produktionen av sjömat, särskilt i händelse av kris, mot bakgrund av att en så hög andel av den svenska konsumtionen av sjömat idag importeras (cirka 70 %, Borthwick et al. 2019). Det finns också en nationell strategi som syftar till att stärka det svenska fisket (Havs- och vattenmyndigheten & Jordbruksverket 2021) och den svenska livsmedelsproduktionen (Regeringens proposition 2017). Hjälmaren är, som beskrivits tidigare, också av riksintresse för fisket vilket innebär att användningen av mark- och vattenområden ska säkerställa fiskesektorns tillgång till fångstområden och lek- och uppväxtområden för fisk (Miljöbalken 3 kap 5 §). Fisket i Hjälmaren är ett av de ekonomiskt mest lönsamma småskaliga yrkesfiskena i Sverige (Blomqvist & Swahnberg 2020) och det bör därför vara av hög prioritet att säkerställa ett livskraftigt Hjälmarfiske.

I förvaltningen av fisket och fiskbestånden i stora sjöarna Vänern, Vättern, Mälaren och Hjälmaren samt Storsjön i Jämtland finns inga tydliga kvantitativa förvaltningsmål på nationell nivå. Däremot finns regionala förvaltningsplaner där bevarande- och nyttjandemål ingår (Vätternvårdsförbundet 2017). Målen berör de viktigaste fiskarterna, fisket, fisketillsynen och tillflödena. En liknande plan är under utveckling i Hjälmaren. Förvaltningen av fisket syftar dock till att samtliga fiskbestånd som är föremål för fiske (inklusive bestånden av braxen) ska vara inom biologiskt säkra gränser, vilket innebär att deras biomassa/abundans ska vara hög eller inte minskande, att fiskets uttag är hållbart (att dödligheten inte är för hög) och att storleks- och åldersstrukturen hos bestånden är god eller inte uppvisar en negativ trend (Larsson et al. 2024). Ett reduktionsfiske riktat mot braxen innebär en väldigt hög dödlighet vilket förväntas minska deras biomassa/abundans och reducera storleks- och åldersstrukturen mot mindre och yngre individer som blir könsmogna tidigare. Det skulle innebära att status för braxen kraftigt försämras vilket går tvärtemot de nuvarande målen inom fiskeriförvaltningen (Larsson et al. 2024).

Det pågår en stegvis implementering av ekosystembaserade aspekter i fiskeriförvaltningen. Ur ett sådant perspektiv är det förstås tänkbart att diskutera hur målen för enskilda arter, i det här sammanhanget framförallt braxen men troligen även gös, ska vägas mot förbättringar av ekosystemet, i det här fallet vattenkvaliteten. Hur motstridiga mål mellan vatten- och resursförvaltning ska prioriteras är i slutänden en värderingsfråga. Vi kan dock konstatera att det finns en uppenbar risk att man genom att prioritera vattenförvaltningens mål före fiskeriförvaltningens mål, och därmed initiera riskfyllda åtgärder för att förbättra vattenkvaliteten, kan orsaka en situation där båda förvaltningarna misslyckas. I det fortsatta arbetet är det därför viktigt att belysa målkonflikter mellan vatten- och fiskeriförvaltningen.

4.3. Alternativ till storskaligt reduktionsfiske

Ett intressant exempel på en möjlig väg framåt där man försökt förena övergödningsbekämpande åtgärder med hänsyn till yrkesmässigt fiske för konsumtion är finska Pyhäjärvi (Ventelä et al. 2007). Försäljningen av karpfiskar och andra normalt oönskade arter i fisket (som gers) har subventionerats sedan 1995. Över tid har man utvecklat nya sjömatprodukter baserade på karpfisk vilket inneburit att större delen av fångsten gått till konsumtion. Att fisket sker vintertid är viktigt. Det innebär att man kan få hög kvalitet på fisken trots höga fångster. Det är dock den årstid som Svärdson (1965) anser att risken för överfiske på braxen är som störst, eftersom fisket sker på så kallade braxenstånd i vinterdvala. En liknande satsning i Hjälmmaren som i sjön Pyhäjärvi skulle innebära att samhället stöttar och underlättar ett ökat uttag av karpfisk inom ramen för det befintliga småskaliga fisket i Hjälmmaren. Snarare än storskaligt reduktionsfiske under några enstaka år, kan ett ökat småskaligt yrkesfiske på braxen och annan karpfisk också gynna vattenförvaltningen. Särskilt braxen har på senare år fått allt mer uppmärksamhet som matfisk vilket gör att det numera finns en liten men långsamt ökande efterfrågan på braxen. Ett sådant fiske för konsumtion innebär inte de drastiska uttag som krävs i ett reduktionsfiske men kan i viss mån förväntas utgöra ett alternativ som är associerat med mindre risker, är sannolikt väsentligt billigare för samhället och i förlängningen ett mer hållbart sätt att, genom den landade fångstens fosforinnehåll, bidra till en stegvis fosforreduktion i Hjälmmaren. I Pyhäjärvi har man subventionerat yrkesfisket genom att garantera ett visst pris för den fisk som fångas i reduktionsfiske. Ett sådant system kan dock påverka marknaden för konsumtionsfiske på braxen, inte bara i Hjälmmaren utan i landet som helhet. Vi rekommenderar därför att man bör undersöka hur man på bästa sätt kan stötta yrkesfisket med infrastruktur, utformning av regelverk och eventuellt även kan garantera en viss minimisättning per kilo braxen. Det är dock viktigt att sådana åtgärder inte får för stora effekter på sambandet mellan efterfrågan och tillgång på

braxen och därmed urholkar den marknad som successivt byggs upp för produkter baserade på braxen.

4.3. Slutord

Biomanipulation av sjöar genom reduktionsfiske har sitt ursprung i ekologisk teori. Förutom att metoden inneburit ett ytterligare verktyg för återställning av övergödda sjöar innebar de första lyckade resultaten ett genombrott för synen på fiskars betydelse för akvatiska ekosystem. I dag är de flesta ense om att fiskar och fiske kan påverka ekosystemen och att förvaltningen av sjöar, vattendrag, kustområden och hav måste integrera fiskens betydelse med andra viktiga processer som styr ekosystemens dynamik och struktur. Även om man inte initierar ett storskaligt reduktionsfiske i Hjälmarén kan själva diskussionen kring ett reduktionsfiske innebära något positivt. Det innebär ett annat synsätt på sjön och dess nyttjande samt fiskens roll för ekosystemet och betydelsen av balans mellan fisket och andra intressen. Förutom signalkräfta är insjöfisket i dag nästan helt inriktat på predatorer som gös, och i viss mån också abborre och gädda. Våra analyser visar att det finns utrymme att inom biologiskt säkra gränser öka fångsterna av karpfisk. Att tillåta större fångster av karpfiskar i det befintliga småskaliga fisket borde därmed vara fullt möjligt. Parallellt med detta är det viktigt att få ett ökat fokus på karpfiskarna och deras roll för sjön.

5. Tack

Studien finansierades av EU LIFE IP Rich Waters delprogram C11 Internbelastning. Ytterligare medfinansiering har skett via Havs- och vattenmyndigheten via anslag 1:11 Åtgärder för havs- och vattenmiljön. Vi vill tacka Stefan Thorfve, VFK, för insamling av data via båtelfiske och allmän hjälp med att ta fram data från båtelfiske. Daniel Bergdahl och Tomas Schön Kvastegård på Länsstyrelsen i Örebro län som initierade projektet och har bidragit till planering och genomförande. Rapporten blev märkbart bättre efter granskning av Jens Fölster, Magnus Karlsson och Örjan Östman. Sofia Brockmark på Havs- och vattenmyndigheten bidrog till att säkra medfinansiering. Anna Vesper Gunnarsson och Hans Johansson bidrog förtjänstfullt med insamling av braxen från sitt fiske med bottengarn. Malin Hällbom och Jennie Strömquist bidrog med att hämta in braxen från Hjälmarens och genomförde dissektioner av braxen. Magnus Kokkin och Björn Ardestam gjorde åldersanalyser på braxen. Fredrik Saarkoppel illustrerade fosfordynamiken i sjön och Teresa Soler redigerade rapporten.

Referenser

- Almeida, L.Z., Sesterhenn, T.M., Rucinski, D.K. & Höök, T. (2022). Nutrient loading effects on fish habitat quality: Trade-offs between enhanced production and hypoxia in Lake Erie, North America. *Freshwater Biology*, (67), 784–800. <https://doi.org/10.1111/fwb.13881>
- Annadotter, H., Cronberg, G., Aagren, R., Lundstedt, B., Nilsson, P.-Åke & Ströbeck, S. (1999). Multiple techniques for lake restoration. I: Harper, D.M., Brierley, B., Ferguson, A.J.D., & Phillips, G. (red.) *The Ecological Bases for Lake and Reservoir Management*. Springer Netherlands. 77–85. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3282-6_7
- Axenrot, T. (2020). Hydroakustik i sötvatten: ett verktyg i fisk- och miljöövervakning. *Aqua reports*, (2020:12). <https://res.slu.se/id/publ/107829> [2024-05-14]
- Axenrot, T. & Degerman, E. (2024). *Ontogenetic variation in lacustrine European smelt (Osmerus eperlanus) populations as a response to ecosystem characteristics : an indicator of population sensitivity to environmental and climate stressors*. Department of Aquatic Resources, Swedish University of Agricultural Sciences. <https://doi.org/10.54612/a.5qdiolcgi2>
- Axenrot, T. & Rogell, B. (2021). *Institutionen för akvatiska resurser, Sötvattenslaboratoriet*. (SLU.aqua.2020.5.5-223 Projekt nr:). SLU Aqua.
- Bergquist, B., Axenrot, T., Carlstein, M. & Degerman, E. (2007). *Fiskundersökningar i större vattendrag*. (10). Fiskeriverket Sötvattenslaboratorium.
- Bernes, C., Carpenter, S.R., Gårdmark, A., Larsson, P., Persson, L., Skov, C., Speed, J.D. & Van Donk, E. (2015). What is the influence of a reduction of planktivorous and benthivorous fish on water quality in temperate eutrophic lakes? A systematic review. *Environmental Evidence*, 4 (1), 7. <https://doi.org/10.1186/s13750-015-0032-9>
- Bhele, U., Öglü, B., Tuvikene, A., Bernotas, P., Silm, M., Järvalt, A., Agasild, H., Zingel, P., Seller, S., Timm, H., Nöges, P., Nöges, T. & Cremona, F. (2020). How long-term water level changes influence the spatial distribution of fish and other functional groups in a large shallow lake. *Journal of Great Lakes Research*, 46 (4), 813–823. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.02.010>
- Björk Rengbrandt, J. & Böklin, M. (2019). *Reduktionsfiske i Sövdeshjön 2018-2019*
- Blomqvist, G.E. & Swahnberg, H. (2020). *Ekonomisk och strukturell data rörande svenskt insjöfiske*. (19). Jordbruksverket.
- Borthwick, L., Bergman, K. & Ziegler, F. (2019). *Svensk konsumtion av sjömat*. (RISE Rapport, 27). RISE.
- Caddy, J.F. (1993). Toward a comparative evaluation of human impacts on fishery ecosystems of enclosed and semi-enclosed seas. *Reviews in Fisheries Science*, 1 (1), 57–95. <https://doi.org/10.1080/10641269309388535>
- Danilov, M.B., Kriksunov, E.A., Bobyrev, A.E., Sheremet'ev, A.D., Mel'nik, M.M., Severin, S.O., Vasilev, P.V. & Chistov, S.V. (2020). Population Dynamics of the Bream *Abramis brama* in Lake Peipus. *Journal of Ichthyology*, 60 (4), 593–607. <https://doi.org/10.1134/S0032945220040049>

- Degerman, E. (2004). Fisk, fiske och miljö i de fyra stora sjöarna från istid till nutid. 252
- Degerman, E. (2008). *Fisken i Mellanfjärden 2006-2008*
- Degerman, E., Hammar, J., Nyberg, P. & Svardson, G. (2001). Human Impact on the Fish Diversity in the Four Largest Lakes of Sweden.
- Degerman, E., Nyberg, P. & Sötvattenslaboratorium, F. (2003). *Provfiskeundersökning av fiskfaunan Mellanfjärden*. Sötvattenslaboratoriet.
- Eggert, H. & Ulmestrand, M. (1999). A Bioeconomic Analysis of the Swedish Fishery for Norway Lobster (*Nephrops norvegicus*). *Marine Resource Economics*, 14 (3), 225–244. <https://doi.org/10.1086/mre.14.3.42629267>
- EN 15910 (2014). *Water quality - Guidance on the estimation of fish abundance with mobile hydroacoustic methods*. (STD-100721)
- Gulati, R.D. & Van Donk, E. (2002). Lakes in the Netherlands, their origin, eutrophication and restoration: state-of-the-art review. I: Nienhuis, P.H. & Gulati, R.D. (red.) *Ecological Restoration of Aquatic and Semi-Aquatic Ecosystems in the Netherlands (NW Europe)*. Springer Netherlands. 73–106. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1335-1_5
- Hamrin, S.F. (1999). Planning and execution of the fish reduction in Lake Ringsjön. I: Hansson, L.-A. & Bergman, E. (red.) *Nutrient Reduction and Biomanipulation as Tools to Improve Water Quality: The Lake Ringsjön Story*. Springer Netherlands. 59–63. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2462-3_7
- Hansson, L.-A. (1998). *Biomanipulering som restaureringsverktyg för näringsrika sjöar*.
- Hartmann, J. (1977). Fischereiliche Verandemngen in kulturbedingt eutrophierenden Seen. *Schweiz. Z. Hydrol.*, (39 (2)), 243–253. <https://doi.org/10.1007/BF02502671>
- HaV (2019). *Fritidsfisket i Sverige En inblick i fritidsfiskets omfattning under åren 2013-2017*. (2019:5). <https://www.havochvatten.se/data-kartor-och-rapporter/rapporter-och-andra-publikationer/publikationer/2019-04-05-fritidsfisket-i-sverige.html>
- HaV (2022). *Fritidsfisket i Sverige 2018-2020*. (2022:6). <http://havochvatten.diva-portal.org/smash/get/diva2:1657751/FULLTEXT01.pdf>
- Havs- och vattenmyndigheten (2022). *Fisk i rinnande vatten - elfiskebåt, version 1.0*
- Havs- och vattenmyndigheten & Jordbruksverket (2021). *Strategi för svenskt fiske och vattenbruk 2021–2026 – friska ekosystem och hållbart nyttjande*
- Hedré, A. (2018). *Reduktionsfiske i Växjösjöarna*
- Heibo, E. & Karås, P. (2005). *Forsmark site investigation: The coastal fish community in the Forsmark area SW Bothnian sea*. (P-05_148). Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co (SKB).
- Helminen, H. & Sarvala, J. (2021). Trends in Vendace (*Coregonus albula*) Biomass in Pyhäjärvi (SW Finland) Relative to Trophic State, Climate Change, and Abundance of Other Fish Species. *Annales Zoologici Fennici*, 58 (4–6). <https://doi.org/10.5735/086.058.0411>
- Hewitt, D.A. & Hoenig, J.M. (2005). Comparison of two approaches for estimating natural mortality based on longevity. *Fishery Bulletin*,
- Horppila, J., Peltonen, H., Malinen, T., Luokkanen, E. & Kairesalo, T. (1998). Top-down or Bottom-up Effects by Fish: Issues of Concern in Biomanipulation of Lakes. *Restoration Ecology*, 1998 (6), 20–28
- Huser, B.J., Bajer, P.G., Chizinski, C.J. & Sorensen, P.W. (2016). Effects of common carp (*Cyprinus carpio*) on sediment mixing depth and mobile phosphorus mass in the active sediment layer of a shallow lake. *Hydrobiologia*, 763 (1), 23–33. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2356-4>

- Håkanson, L. (1978). Hjälmarén - en naturgeografisk beskrivning. *SNV PM*, 1978 (1079, rapport 95), 58
- Iho, A., Ahtiainen, H., Artell, J., Heikinheimo, O., Kauppila, P., Kosenius, A.-K., Laukkanen, M., Lindroos, M., Oinonen, S., Ollikka, K., Parkkila, K., Pavlova, Y., Peltonen, H., Pouta, E. & Uusitalo, L. (2017). The Role of Fisheries in Optimal Eutrophication Management. *Water Economics and Policy*, 03 (02), 1650031. <https://doi.org/10.1142/S2382624X16500314>
- Jeppesen, E., Meerhoff, M., Jacobsen, B A, Hansen, R. S., Søndergaard, M., Jensen, J. P., Lauridsen, T., Mazzeo, N, & Branco, C W C (2007). Restoration of shallow lakes by nutrient control and biomanipulation—the successful strategy varies with lake size and climate. *Hydrobiologia*, 2007 (581), 269–285. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0507-3>
- Jeppesen, E., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Davidson, T.A., Liu, Z., Mazzeo, N., Trochine, C., Özkan, K., Jensen, H.S., Trolle, D., Starling, F., Lazzaro, X., Johansson, L.S., Bjerring, R., Liboriussen, L., Larsen, S.E., Landkildehus, F., Egemose, S. & Meerhoff, M. (2012). Biomanipulation as a Restoration Tool to Combat Eutrophication. I: *Advances in Ecological Research*. Elsevier. 411–488. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398315-2.00006-5>
- Jones, R. (1990). Length-cohort analysis: The importance of choosing the correct growth parameters. *ICES Journal of Marine Science*, 46 (2), 133–139. <https://doi.org/10.1093/icesjms/46.2.133>
- Karjalainen, J., Ruokonen, T.J., Marjomäki, T.J., Suomi, I., Forsman, T. & Keskinen, T. (2023). *Sisävesien talouslajien saalispotentiaali Suomessa*. (Proceedings of the Department of Biological and Environmental Science, University of Jyväskylä, 1). University of Jyväskylä - Open Science Centre. <https://doi.org/10.17011/jyx/18282/65806>
- Karlsson, M., Malmaeus, M. & Rydin, E. (2019). Åtgärder mot internbelastning av fosfor i Hjälmarén. *IVL Svenska Miljöinstitutet*, C 381. <https://www.ivl.se/download/18.694ca0617a1de98f473eb9/1628418480852/FULLTEXT01.pdf>
- Klara Vatten AB (2021). *Reduktionsfiske med bottengarn i Vallentunasjön 2021*
- Larsson, S., Sundblad, G., Gustafsson-Renes, S., Bergström, L., Dannewitz, J., Valentinsson, D., Wennhage, H., Bolund, E. & Holmgren, K. (2024). Bedömning av status för nationellt förvaltade fisk- och skaldjursbestånd. *Aqua notes*, (2024:13). <https://doi.org/10.54612/a.4knd3ar0hg>
- Leach, J.H., Johnson, M.G., Kelso, J.R.M., Hartmann, J., Nümann, W. & Entz, B. (1977). Responses of Percid Fishes and Their Habitats to Eutrophication. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, (34 (10)), 1964–1971. <https://doi.org/10.1139/f77-263>
- Lorenzen, K. (1996). The relationship between body weight and natural mortality in juvenile and adult fish: a comparison of natural ecosystems and aquaculture. *Journal of Fish Biology*, 1996 (49), 627–647
- Malmaeus, M. & Rydin, E. (2015). *Sedimentundersökning i Hjälmarén Resultat från provtagning maj 2015*. (C 136). IVL. ivl.se
- McQUEEN, D.J. (1990). OPINION Manipulating lake community structure: where do we go from here? *Freshwater Biology*, 23 (3), 613–620. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1990.tb00299.x>
- Mehner, T., Benndorf, J., Kasprzak, P. & Koschel, R. (2002). Biomanipulation of lake ecosystems: successful applications and expanding complexity in the underlying science. *Freshwater Biology*, 47 (12), 2453–2465. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.01003.x>
- Meijer, M.-L., De Boois, I., Scheffer, M., Portielje, R. & Houser, H. (1999). Biomanipulation in shallow lakes in The Netherlands: an evaluation of 18

- case studies. I: Walz, N. & Nixdorf, B. (red.) *Shallow Lakes '98*. Springer Netherlands. 13–30. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2986-4_2
- Meyer, J.R. (2023). *BOTTOM-UP PROCESSES AND CONSUMER EFFECTS IN SAGINAW BAY, LAKE HURON*. Purdue university.
- Mildenberger, T.K., Taylor, M.H. & Wolff, M. (2017). TropFishR: an R package for fisheries analysis with length-frequency data. *Methods in Ecology and Evolution*, 8 (11), 1520–1527. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12791>
- Nilsson, H., Appelberg, M. & Axenrot, T. (2023). Provtagningsmetoder av akvatiska resurser med 3R i fokus. *Aqua reports*, (2023:1). <https://doi.org/10.54612/a.5o01b216ml>
- Nurnberg, G. (2012). Internal phosphorus load estimation during biomanipulation in a large polymictic and mesotrophic lake. *Inland Waters*, 2 (3), 147–162. <https://doi.org/10.5268/IW-2.3.469>
- Nyström, P. (u.å.). Reduktionsfiske i Ringsjön 2005-2017 - Fiskbeståndens utveckling och riktlinjer för fortsatta åtgärder.
- Nyström, P. & Stenberg, M. (2023). *Scenarier för framtida fiske i Ringsjön och ekologisk status, uppföljningsprogram och handlingsplan*. Ekoll AB.
- Näslund, J., Ardestam, B., Hällbom, M., Renman, O. & Staveley, T. (2023). Båtelvfiske i lugnflytande år 2021 – metod, resultat och erfarenheter. *Aqua reports*, (2023:13). <https://doi.org/10.54612/a.76acmsrd73>
- Olin, M., Rask, M., Ruuhijärvi, J., Keskitalo, J., Horppila, J., Tallberg, P., Taponen, T., Lehtovaara, A. & Sammalkorpi, I. (2006). Effects of Biomanipulation on Fish and Plankton Communities in Ten Eutrophic Lakes of Southern Finland. *Hydrobiologia*, 553 (1), 67–88. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-0786-0>
- Olin, M., Rask, M., Ruuhijärvi, J., Kurkilahti, M., Ala-Opas, P. & Ylönen, O. (2002). Fish community structure in mesotrophic and eutrophic lakes of southern Finland: the relative abundances of percids and cyprinids along a trophic gradient. *Journal of Fish Biology*, 60 (3), 593–612. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb01687.x>
- Olsson, T. (2023). *Finjasjön med till- och frånflöden. Årsrapport 2022*. Calluna AB.
- Persson, A. & Nilsson, E. (2007). Foraging Behavior of Benthic Fish as an Indicator of Ecosystem State in Shallow Lakes. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 53 (3–4), 407–421. <https://doi.org/10.1560/IJEE.53.3.407>
- Persson, A. & Svensson, J.M. (2006). Effects of benthivorous fish on biogeochemical processes in lake sediments. *Freshwater Biology*, 51 (7), 1298–1309. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01569.x>
- Persson, L., Diehl, S., Johansson, L., Andersson, G. & Hamrin, S.F. (1991). Shifts in fish communities along the productivity gradient of temperate lakes-patterns and the importance of size-structured interactions. *Journal of Fish Biology*, 1991 (38 (2)), 281–293. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1991.tb03114.x>
- Persson, L., Johansson, L., Andersson, G., Diehl, S. & Hamrin, S.F. (1993). Density Dependent Interactions in Lake Ecosystems: Whole Lake Perturbation Experiments. *Oikos*, 66 (2), 193. <https://doi.org/10.2307/3544805>
- Philipson, P. (2023). *Satellitbaserade indikatorer för sötvatten till stöd för vattendirektivet*. (DNR 2022-00014)
- Rask, M., Malinen, T., Olin, M., Peltonen, H., Ruuhijärvi, J., Vesala, S. & Hietala, J. (2020). Responses of the fish community in a eutrophicated lake to long-term food web management assessed by multiple sampling methods. *Hydrobiologia*, 847 (21), 4559–4573. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04243-9>
- Regeringens proposition (2017). En livsmedelsstrategi för Sverige – fler jobb och hållbar tillväxt i hela landet. Sveriges regering. www.regeringe.se

- Reynolds, C.S. (1994). The ecological basis for the successful biomanipulation of aquatic communities. *Archiv für Hydrobiologie*, 130 (1), 1–33. <https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/130/1994/1>
- Rikhter, V.A. & Efanov, V.N. (1976). On one of the approaches to estimation of natural mortality of fish populations. 1976 (ICNAF Res.Doc. 76/vr/B), 12
- Romare, P. & Bergman, E. (1999). Juvenile fish expansion following biomanipulation and its effect on zooplankton. I: Hansson, L.-A. & Bergman, E. (red.) *Nutrient Reduction and Biomanipulation as Tools to Improve Water Quality: The Lake Ringsjön Story*. Springer Netherlands. 89–97. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2462-3_10
- Salonen, K., Sarvala, J., Horppila, J., Keto, J., Malin, I., Mälinen, T., Niemistö, J. & Ruuhijärvi, J. (2020). Development of Lake Vesijärvi through four decades of remediation efforts. *Hydrobiologia*, 847 (21), 4601–4619. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04338-3>
- Sandström, A. & Karås, P. (2002). Effects of eutrophication on young-of-the-year freshwater fish communities in coastal areas of the Baltic. *Environmental Biology of Fishes*, (63), 89–101
- Sarvala, J., Helminen, H. & Ventelä, A.-M. (2020). Overfishing of a small planktivorous freshwater fish, vendace (*Coregonus albula*), in the boreal lake Pyhäjärvi (SW Finland), and the recovery of the population. *Fisheries Research*, 230, 105664. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105664>
- Sinclair, J., Fraker, M., Hood, J., Reavie, E. & Ludsins, S. (2023). Eutrophication, water quality, and fisheries: a wicked management problem with insights from a century of change in Lake Erie. *Ecology and Society*, 28 (3), art10. <https://doi.org/10.5751/ES-14371-280310>
- Strand, J.A. (1999). The development of submerged macrophytes in Lake Ringsjön after biomanipulation. I: Hansson, L.-A. & Bergman, E. (red.) *Nutrient Reduction and Biomanipulation as Tools to Improve Water Quality: The Lake Ringsjön Story*. Springer Netherlands. 113–121. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2462-3_12
- Strand, J.A. & Weisner, S.E.B. (2001). Dynamics of submerged macrophyte populations in response to biomanipulation. *Freshwater Biology*, 46 (10), 1397–1408. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00746.x>
- Sundblad, G., Bergström, L., Söderqvist, T. & Bergström, U. (2020a). Predicting the effects of eutrophication mitigation on predatory fish biomass and the value of recreational fisheries. *Ambio*, 49 (5), 1090–1099. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01263-1>
- Sundblad, G., Bergström, U. & Sandström, A. (2011). Ecological coherence of marine protected area networks: a spatial assessment using species distribution models. *Journal of Applied Ecology*, 48 (1), 112–120. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01892.x>
- Sundblad, G., Svensson, R. & Östman, Ö. (2020b). *Hållbart nyttjande av lågt exploaterade fiskbestånd, ett pilotprojekt om ökat fiske på braxen*. (Aqua reports, 2020:14). Institutionen för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet. <https://res.slu.se/id/publ/108939>
- Svärdson, G. (1965). *Braxen*. Fiskefrämjandet (13–27). Särtryck ur Fiske 65.
- Svärdson, G. & Molin, G. (1981). The impact of eutrophication and climate on a warm-water fish community. *Institute of Freshwater Research*, 1981 (59), 143–151
- Søndergaard, M., Jensen, J.P. & Jeppesen, E. (2003). Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 506–509 (1–3), 135–145. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000008611.12704.dd>
- Søndergaard, M., Liboriussen, L., Pedersen, A.R. & Jeppesen, E. (2008). Lake Restoration by Fish Removal: Short- and Long-Term Effects in 36 Danish

- Lakes. *Ecosystems*, 11 (8), 1291–1305. <https://doi.org/10.1007/s10021-008-9193-5>
- Thorfve, S. (2024). Båtelfiske i Hjälmaren 2023. 2024, 46
- Ventelä, A.-M., Tarvainen, M., Helminen, H. & Sarvala, J. (2007). Long-term management of Pyhäjärvi (southwest Finland): eutrophication, restoration – recovery? *Lake and Reservoir Management*, 23 (4), 428–438. <https://doi.org/10.1080/07438140709354028>
- Vätternvårdsförbundet (2017). *Förvaltningsplan fisk och fiske Vättern 2017-2022*. (127). https://vattern.org/wp-content/uploads/Rapport127_Forvaltningsplan-fisk-och-fiske_2017.pdf
- Växjö kommun (2022). *Förvaltningsplan för restaureringsåtgärder i Växjösjöarna 2022–2032*. (Dnr KS/202200126)
- Willén, E. (2001). Phytoplankton and Water Quality Characterization: Experiences from the Swedish Large Lakes Mälaren, Hjälmaren, Vättern and Vänern. *Ambio*, (30 (8)), 529–537
- Zhang, Z., Liu, C., Ding, H., Xie, P., Ma, X., Guo, Y. & Xie, C. (2017). Reproductive biology of bream *Abramis brama* (L.) in the lower reaches of the Irtysh River, China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 35 (6), 1471–1481. <https://doi.org/10.1007/s00343-017-0198-9>
- Zhang, Z.-M., Xie, C.-X., Ding, H.-P., Liu, C.-J., Ma, X.-F. & Cai, L.-G. (2016). Age and growth of bream *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) in the downstream section of Irtysh River in China. *Journal of Applied Ichthyology*, 32 (1), 105–109. <https://doi.org/10.1111/jai.12944>
- Öğlü, B., Bhele, U., Järvalt, A., Tuvikene, L., Timm, H., Seller, S., Haberman, J., Agasild, H., Nöges, P., Silm, M., Bernotas, P., Nöges, T. & Cremona, F. (2020). Is fish biomass controlled by abiotic or biotic factors? Results of long-term monitoring in a large eutrophic lake. *Journal of Great Lakes Research*, 46 (4), 881–890. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.08.004>
- Örnborg, J. & Kyrkander, T. (2021). *Makrofytter i reglerade och eutrofierade sjöar*

