



GÖTEBORGS
UNIVERSITET

INSTITUTIONEN FÖR BIOLOGI OCH
NATURVETENSKAP

TILLVÄXTRESPONS HOS JUVENILA ATLANTSTÖRAR UNDER VARIERANDE STRÖMHASTIGHETER OCH TÄTHETER

En experimentell studie på *Acipenser oxyrinchus*



Omslagsbild: Foto av författaren

Krister Strömqvist

Uppsats för avläggande av naturvetenskaplig kandidatexamen med huvudområdet biologi
BIO602/BIO603, Examenskurser i biologi, 30 hp

Grundnivå

Termin/år: HT 2025

Handledare: Johan Höjesjö vid Institutionen för biologi och miljövetenskap
Dan Calderon, Miljöteknik i väst / Naturvårdarna (extern)

Examinator: Staffan Andersson vid Institutionen för biologi och miljövetenskap

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	1
1. Sammanfattning	2
1.1 Abstract	3
2. Introduktion	3
2.1 Atlantstör, evolution och ekologi	4
2.1.1 Artintroduktion	5
2.2 Biologi och livscykel	6
2.2.1 Morfologi och fysiologiska anpassningar	6
2.2.2 Tidiga stadier i floden	6
2.2.3 Marina kustvandringar	7
2.2.4 Födosök och tillväxt	7
2.2.5 Lek och reproduktion	7
2.3 Utrotning och återkomst	8
2.3.1 Historiskt försvinnande	8
2.3.2 Återintroduktion	8
2.3.3 HELCOM	8
2.3.4 Svenska räddningsinsatser	8
2.4 Syfte	9
3. Metod	9
3.1 Experimentell undersökning av uppfödning	9
3.2 Anläggningen	9
3.2.1 Anläggningens konstruktion och vattentillförsel	9
3.2.2 Trågens konstruktion och indelning	10
3.2.3 Rheotaxis och strömföring	11
3.2.4 Tilldelning av fisk	12
3.2.5 Mätning och vägning	13
3.2.6 Mätperiod och underhåll	14
3.2.7 Justeringar under mätperioden	14
3.3 Data- och statistisk analys	14
3.3.1 Dataanalys	14
3.3.2 Tillväxtmått	15
3.3.3 Statistisk analys	15
4. Resultat	16
4.1 Effekter av strömhastighet, täthet och deras interaktion på tillväxt	16
4.2 Tillväxt över tid	16
5. Diskussion	18
5.1 Effekter av strömhastighet och täthet på tillväxt	18

5.1.1 Tätheten av fisk	18
5.1.2 Strömhastighet	18
5.1.3 Interaktion	20
5.2 Temperatur och konditionsindex	20
5.3 Begränsningar i stressmätning och metodval	20
5.4 Begränsningar i beteendeanalys	21
5.5 Vidare studier	21
6. Slutsats	21
7. Tackord	22
8. Referenslista	23
9. Bilagor	27
9.1 Bilaga 1 - Fullständig ANOVA-tabell för SGR-modellen	27
9.2 Bilaga 2 - Strömhastighetsmätningar	27
9.3 Bilaga 3 - Temperaturmätningar	28
9.4 Bilaga 4 - Temperatur som kovariant	28
9.5 Bilaga 5 - initial kondition som kovariant	29
9.6 Bilaga 6 – Diagnostik av modellantaganden	29
9.6.1 Residuals vs Fitted	30
9.6.2 Normal Q–Q-plot för residualer	30
9.6.3 Samband mellan medeltemperatur (temp_mean) och SGR	31
9.6.4 Samband mellan initial kondition (K_mean) och SGR	31
9.7 Bilaga 7 - Beteendeobservationer	32

1. Sammanfattning

Efter att atlantstören *Acipenser oxyrinchus* länge varit utrotad i Europa har arten nu börjat återintroduceras via uppfödningprogram för utsättning i det vilda. Eftersom denna verksamhet är relativt ny och kunskapsläget begränsat, syftade denna studie till att undersöka hur varierande strömhastighet och tätheter påverkar tillväxten hos juvenila individer.

I experimentet hölls 88 juvenila individer under fem veckor i två strömhastigheter och två tätheter. Den specifika tillväxthastigheten (Specific Growth Rate, SGR), temperatur och kondition (Fultons konditionsfaktor) beräknades veckovis och analyserades med tvåvägs-ANOVA.

Studien visade att högre strömhastighet gav signifikant högre tillväxt, och att gles täthet hade en ännu starkare positiv effekt på tillväxten. Interaktionen mellan faktorerna var också signifikant: högst tillväxt observerades i glesa tätheter vid hög strömhastighet, och lägst tillväxt i täta tätheter vid låg strömhastighet. Varken temperatur eller initial kondition påvisade någon signifikant effekt i relation till strömhastighet eller täthet.

Resultaten påvisar att högre strömhastighet och glesare täthet vid uppfödning av atlantstör kan öka tillväxten. Kombinationerna av dessa faktorer kan därmed bidra till förbättrade uppväxtmiljöer och stärka återintroduktionen av arten i Östersjöområdet.

1.1 Abstract

After the Atlantic sturgeon *Acipenser oxyrinchus* had long been extinct in Europe, the species has now been reintroduced through hatchery programs for release into the wild. As these efforts are relatively recent and the current knowledge remains limited, this study aimed to investigate how variations in flow velocity and rearing density influence the growth of juvenile individuals.

In the experiment, 88 juveniles were kept for five weeks under two flow velocities and two densities. Specific growth rate (SGR), temperature, and condition (Fulton's condition factor) were calculated weekly and analyzed using two-way ANOVA.

The results showed that higher flow velocity significantly increased growth, while low density had an even stronger positive effect. The interaction between the factors was also significant: the highest growth was observed at low density with high flow velocity, and the lowest growth at high density with low flow velocity. Neither temperature nor initial condition had any significant effect in relation to flow velocity or density.

These findings suggest that higher flow velocity and lower rearing densities may enhance growth in Atlantic sturgeon. Such combinations of factors could contribute to improved rearing environments and support the ongoing reintroduction of the species in the Baltic Sea region.

2. Introduktion

2.1 Atlantstör, evolution och ekologi

Atlantstören (*Acipenser oxyrinchus*) är en anadrom art från en evolutionärt primitiv grupp av benfiskar som historiskt har förekommit längs Sveriges kuster, estuarier och floder (Nikulina & Schmölcke, 2016). Stören livnar sig främst på bottenlevande organismer och dess storlek, rörelsemönster och konsumtion kan ha omfattande effekter på ekologiska processer och biogeokemiska kretslopp. Atlantstörens försvinnande från europeiska vatten under 1900-talet antas därför ha haft betydande effekter på ekosystemen vilket gör pågående återintroduktion särskilt angelägen (He et al., 2024) och internationella bevarandeinsatser har intensifierats under senare år.

År 2019 presenterade samarbetsorganet Helsingforskommissionen (HELCOM) aktionsplanen "Protection and Recovery of the Baltic Sturgeon" (HELCOM, 2019). Planen omfattar även Göta älv, där uppfödning och utsättning av juvenila och subadulta atlantstörar har bedrivits sedan 2023. Projektet är långsiktigt, vilket gör löpande utvärdering angelägen och utgör grunden för denna studie.

Inom ramen för de svenska restaureringsinsatserna har praktiska erfarenheter från *ex situ*-uppfödning hos företaget Miljöteknik i Väst / Naturvårdarna och Sportfiskarna gett upphov till två observationer. För det första förefaller tillväxten öka vid högre strömhastigheter, trots förväntad högre energiförbrukning. För det andra tenderar juveniler att uppvisa en högre aktivitetsnivå vid större täthet, vilket kan indikera stress och potentiellt påverka tillväxten negativt.

För strömlevande fiskar kan både strömhastighet och täthet påverka aktivitetsnivåer, energikostnader och stress. Strömhastigheter som inducerar rheotaxis, det vill säga fiskens orientering och rörelse mot strömriktningen, har hos exempelvis laxfisk visats möjliggöra ett energieffektivt habitatutnyttjande och positionering i strömmen (Davidson et al., 2010). Samtidigt kan höga tätheter vara förenade med stressrelaterade beteenden som påverkar tillväxt negativt (Barton, 2002).

Kunskapsläget kring juvenila atlantstörars preferenser avseende strömhastighet är begränsat. Fältstudier indikerar dock att juvenila individer oftare förekommer i långsamt strömmande miljöer än i forsande habitat, samt att sanddominerade bottenar utnyttjas i större utsträckning än grusdominerade substrat, vilket indirekt tyder på en association med lägre strömhastigheter (Szczepkowski et al., 2011b).

Studiens mål är att experimentellt undersöka tillväxt vid olika strömhastigheter och tätheter. Hypotesen är att strömhastigheter som inducerar rheotaxis orienterar fiskarna i en gemensam riktning, vilket minskar interaktioner mellan individer och därmed kan bidra till ett lugnare beteende. Eftersom stör inte är en stimfisk utan snarare har lösa sociala strukturer och uppvisar visst dominansbeteende (Kynard & Horgan, 2002) antas även lägre tätheter främja ett lugnare beteende och därmed potentiellt högre tillväxt.

Utifrån detta formuleras två antaganden:

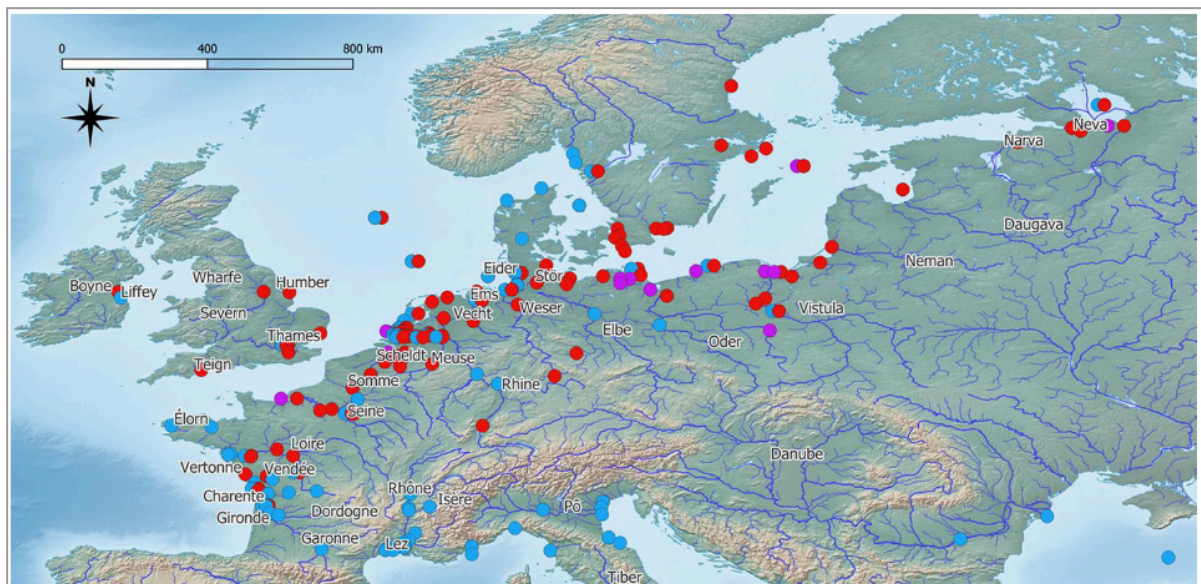
1. **Hög strömshastighet** (som inducerar rheotaxis) förväntas **öka tillväxten** genom minskade interaktioner mellan individer.
2. **Låg täthet** förväntas **främja högre tillväxt**, eftersom det antas leda till färre störande interaktioner.

2.1.1 Artintroduktion

Atlantstören (*A. oxyrinchus*), även benämnd atlantisk stör och baltisk stör, är den störart som historiskt funnits i svenska vatten. Arten tillhör familjen Acipenseridae, en över 200 miljoner år gammal och väl bevarad gren av de tidiga fenestråliga benfiskarna (Bemis & Kynard, 1997; Luo et al., 2019). Primitiva egenskaper såsom ganoidfjäll, broskigt skelett och en heterocerk stjärtfena har bidragit till att gruppen ofta beskrivs som ett “levande fossil” (Pikitch et al., 2005, s. 234–235).

Arten är ursprungligen nordamerikansk men koloniserade Nordsjön och Östersjön under holocen (Nikulina & Schmölcke, 2016). Arkeologiska fynd daterade till cirka 7 500–6 000 f.Kr. bekräftar artens närvaro i europeiska vatten under perioden (Brevé et al., 2025). I dessa områden samexisterade arten med den nära släktingen *A. sturio* (Williot et al., 2011; figur 1).

Tidigare antaganden om att historiska fynd i Skandinavien avsåg *A. sturio* har senare reviderats. Genetiska analyser av museiprover av juvenila störor visade 2012 att *A. oxyrinchus* historiskt varit etablerad och lekt i Göta älv (Göteborgs naturhistoriska museum, u.å.).



Figur 1. Historisk utbredning av *A. oxyrinchus* (röd markering) och *A. sturio* (blå markering) under

holocen. Hybridisering förekommer (lila markering). Vid gemensam förekomst har markeringarna dragits isär för tydlighet (Brevé et al., 2025, återgiven).

2.2 Biologi och livscykel

2.2.1 Morfologi och fysiologiska anpassningar

Arten uppvisar en långsträckt kropp med en karakteristisk femsidig genomskärning och plattad ventralsida. Fenorna är mjukstråliga och ger fisken ett hajliknande utseende. Munnen är ventralt placerad, kan skjutas fram vid födointag och saknar tänder. Rostrum (nosregionen) är hos juvenila individer utdraget och något uppåtböjt, vilket återspeglas i artnamnet *oxyrinchus* ("spetsnos"). Mellan rostrum och mun förekommer fyra skäggtömmar arrangerade i rad. Färgteckningen varierar från blåsvart till ljusgrå dorsolateralt, medan buksidan är vit (Froese & Pauly, 2025; Kullander et al., 2012).

Kroppen är försedd med fem längsgående rader av rundade eller ovala benplåtar (scutes). De dorsala benplåtarna kan uppvisa en vassare krokform hos juveniler medan de hos adulta individer blir trubbiga. Fjäll förekommer enbart nedanför stjärtpolen och då som ganoidfjäll (Froese & Pauly, 2025; Kullander et al., 2012).

Sammantaget antyder den heterocerca stjärtfenan, de utåtriktade bröstfenorna samt den plattade buken och ventralt placerade munnen en anpassning till ett bentiskt (bottenlevande) levnadssätt (figur 2).



Figur 2. Atlantstörens benplåtar, plattade buk, heterocerca stjärtfena och spetsiga nos ger fisken dess karaktäristiska, evolutionärt primitiva utseende.

2.2.2 Tidiga stadier i floden

Atlantstörens rom utvecklas och kläcks i sötvattensfloder. Fria embryon övergår till larver inom två veckor, varefter de påbörjar en nedströms drift som normalt varar 6–12 dagar. Förflyttningen avslutas strax uppströms estuariets saltvattensgräns, där larverna etablerar sig på bottenstrukt (Hilton et al., 2016).

Årsyngel och juveniler uppehåller sig därefter inom estuariet där de konsumerar insektslarver, kräftdjur och havsborstmaskar (Logan-Chesney et al., 2013). Säsongsvis förflyttar de sig mellan flodens varmare sötvattensavsätt under vår och sommar och djupare, mer saltpräglade vatten under höst och vinter. Individernas kärnområden omfattar vanligtvis omkring en kvadratkilometer och karaktäriseras av sand- och lerbottnar (Hilton et al., 2016).

2.2.3 Marina kustvandringar

Juvenila och subadulta atlantstörar (2–6 år gamla) övergår till en alltmer adult marin livsstil. Som aduler genomför de långa kustnära vandringar och födosöker huvudsakligen på sandiga bottnar, vanligtvis på djup mellan 6 och 40 meter (Hilton et al., 2016). Aktiviteten är som högst under gryning och skymning, vilket indikerar att födosöket sker då (McLean et al., 2014).

2.2.4 Födosök och tillväxt

Atlantstören intar föda genom att suga in den tillsammans med sediment från botten med sin ventralt placerade mun. Efter att födan separerats från substratet passerar huvuddelen av sedimentet genom gälarna, medan bytesorganismer sväljs. Dietanalyser från nordamerikanska populationer visar att arten är en opportunistisk bentisk födosökare med en tydlig preferens för havsborstmaskar, och att denna preferens inte påverkas av individens storlek eller ålder (Logan-Chesney et al., 2013). Födan består dessutom av kräftdjur, märkräftor, musslor och övriga bentiska evertebrater, samt i mindre utsträckning fisk (Hilton et al., 2016).

Vuxna atlantstörar kan i vilt tillstånd uppnå längder över 4,5 m och vikter nära 400 kg. Tillväxttakten påverkas starkt av temperatur och är dessutom tydligt könsdifferentierad. Honor växer långsammare under de tidiga levnadsstadierna men uppnår större slutstorlek. Hanar blir könsmogna vid 5–20 års ålder, medan honor når mognad vid 10–28 års ålder. Nordliga populationer har en tendens till senare könsmognad (Hilton et al., 2016).

2.2.5 Lek och reproduktion

Inför lek återvänder atlantstören till de platser där den kläcktes. Detta indikerar att spatial prägling, som möjliggör det starka homingbeteendet, etableras tidigt och lagras över lång tid (Kynard et al., 2012). Själva leken sker i sötvatten, ofta långt uppströms i flodsystemet där strömhastigheten är hög och syresättningen god (Hilton et al., 2016).

Leken äger rum på hårda bottnar av sten eller kompakt lera. En stor hona kan producera upp till cirka 1,3 miljoner romkorn, även om medelvärdet är lägre (Mitchell et al., 2020). Hanar kan reproducera sig årligen, medan honornas lekcykler vanligen är två till fem år (Balazik, 2012). Reproduktionsstrategin med många ägg under en lång livstid indikerar en mycket låg överlevnad i de tidiga livsstadierna.

2.3 Utrotning och återkomst

2.3.1 Historiskt försvinnande

Störens stora kroppsstorlek, anadroma vandringsmönster och sena könsmodnhet gör arten särskilt känslig för marint överfiske samt för antropogena ingrepp. Till följd av dessa sårbarhetsfaktorer minskade populationerna av både *A. sturio* och *A. oxyrinchus* kraftigt under 1800- och 1900-talen och kollapsade till slut helt i Europa. Atlantstören utrotades i europeiska vatten men överlevde i Nordamerika, medan *A. sturio* räddades från global utrotning genom att 53 individer från en reliktpopulation samlades in för att etablera en *ex situ*-stam. Detta arbete kom senare att inspirera motsvarande återintroduktionsprogram för atlantstör, baserade på individer från Kanada (Brevé et al., 2022).

2.3.2 Återintroduktion

Försök till återintroduktion av atlantstör i Östersjön har pågått sedan 1996. År 2004 importerades befruktade ägg, nykläckta larver och yngel av atlantstör som framtagits genom kontrollerad reproduktion av vilda lekfiskar fångade i St. John River i Kanada. Dessa ursprungligen importerade individer, tillsammans med några individer från årsklasserna 1997 och 2001, utgör idag grunden för ett avelsbestånd som möjliggör fortsatt uppfödning och utsättning med målet att etablera en självständig östersjöpopulation (Kolman et al., 2011).

2.3.3 HELCOM

Sedan 2010-talet har restaureringsarbetet integrerats inom Helsingforskommissionen (HELCOM). Där antogs Action Plan for the Protection and Recovery of the Baltic Sturgeon (2019–2029), i vilken Östersjöländerna åtar sig att stödja återintroduktion av livskraftiga populationer av atlantstör inom dess historiska utbredningsområde. Till detta område räknas även Göta älv (HELCOM, 2019).

För att uppnå målsättningarna i handlingsplanen bedrivs arbete inom följande huvudområden:

1. **Ex situ-bevarande**, baserat på ett långsiktigt och genetiskt hållbart avelsprogram.
2. **In situ-bevarande**, inklusive återintroduktion och skydd
3. **Strategisk övervakning**, med särskilt fokus på rekrytering och populationsutveckling.
4. **Habitatrestaurering** och habitatförvaltning.

2.3.4 Svenska räddningsinsatser

I Sverige drivs restaureringsarbetet för atlantstör genom ett samarbete mellan Miljöteknik i Väst / Naturvårdarna, Göteborgs Naturhistoriska Museum, Göteborgs universitet, Sveriges Sportfiske- och Fiskevårdsförbund samt Sveriges lantbruksuniversitet. Sedan 2023 bedrivs

uppfödning av juveniler från de etablerade avelsprogrammen, liksom ett telemetriprojekt som syftar till att studera rörelsemönster hos utsatta individer (Lundgren, 2024).

Under sommaren 2024 genomfördes de första utsättningarna av juvenila atlantstörar i Göta älv efter tillstånd från Länsstyrelsen (Lundgren, 2024). Därefter har ytterligare tillstånd beviljats som möjliggör årliga utsättningar av upp till 5 000 individer.

2.4 Syfte

Eftersom *ex situ*-arbetet med atlantstör fortfarande är relativt nytt är kunskapsläget kring artens uppfödning och tidiga beteendepertoar begränsat. Då HELCOM:s restaureringsprogram är långsiktigt är systematisk kunskapsinsamling av central betydelse.

Syftet med denna studie är att undersöka hur juvenila atlantstörars utveckling påverkas av olika miljömässiga faktorer, med särskilt fokus på tillväxt under varierande tätheter och strömregimer. Studien inkluderar även ett explorativt moment avseende beteendemässiga responser, där individernas aktivitetsnivå, orientering och positionering observerades kvalitativt i relation till strömhastighet och täthet.

3. Metod

3.1 Experimentell undersökning av uppfödning

Uppfödning *ex situ* av *Acipenser oxyrinchus* bedrivs vanligen i landbaserade rännor med begränsad miljöberikning och låg variation. Detta experiment utformades därför enligt samma princip, dels för att resultaten skulle vara relevanta för praktisk uppfödning, dels för att minimera påverkan från oönskade biologiska och fysiologiska faktorer.

Anläggningen bestod av fyra tråg: två med hög och två med låg strömhastighet (tabell 1). Varje tråg delades vidare in i två isolerade banor med gles respektive tät täthet. Totalt fyra kombinationer av behandlingar med två replikat av vardera.

3.2 Anläggningen

3.2.1 Anläggningens konstruktion och vattentillförsel

För experimentet konstruerades en helt ny anläggning (figur 3) där ett träregelverk bar upp trägen och ett plasttak fördelade ljuset och skyddade mot nederbörd. Vatten tillfördes från en närliggande grävd bevattningsdamm som fylldes på via en mindre skogsbäck och nederbörd. Höga halter av ler- och siltpartiklar (cirka 50 NTU, nephelometric turbidity units, under torrväder och avsevärt högre vid nederbörd) bedömdes motsvara turbiditeten i juvenilernas naturliga uppväxtmiljöer.

Vattnet fördelades in i anläggningen via fyra separata ledningar, vardera avslutad med ett pistolmunstycke för maximal syresättning. Varje tråg tillfördes ca 35 liter i timmen. Motsvarande avvattning, ca 13 % av den totala volymen, skedde i trågens bakkant.



Figur 3. En öppen träkonstruktion upprättades med gångar mellan trågen för god överblick och ergonomisk arbetshöjd. Ett plasttak fördelade ljuset jämnt och skyddade anläggningen från nederbörd.

3.2.2 Trågens konstruktion och indelning

Varje tråg var av aluminium och mätte $250 \times 70 \times 20$ cm. Invändig epoxi applicerades för att skydda mot giftig jonbildning. Avrinning begränsade djupet till 15 cm i de fiskbärande delarna och 17 cm i övriga sektioner.

Trågen delades in i två parallella banor genom en längsgående träregel med en öppning i vardera ände för genomflöde (figur 4). Vattencirkulation inom tråget styrdes på trågnivå av strömaggregat (s.k. streamers) i anslutning till dessa öppningar.

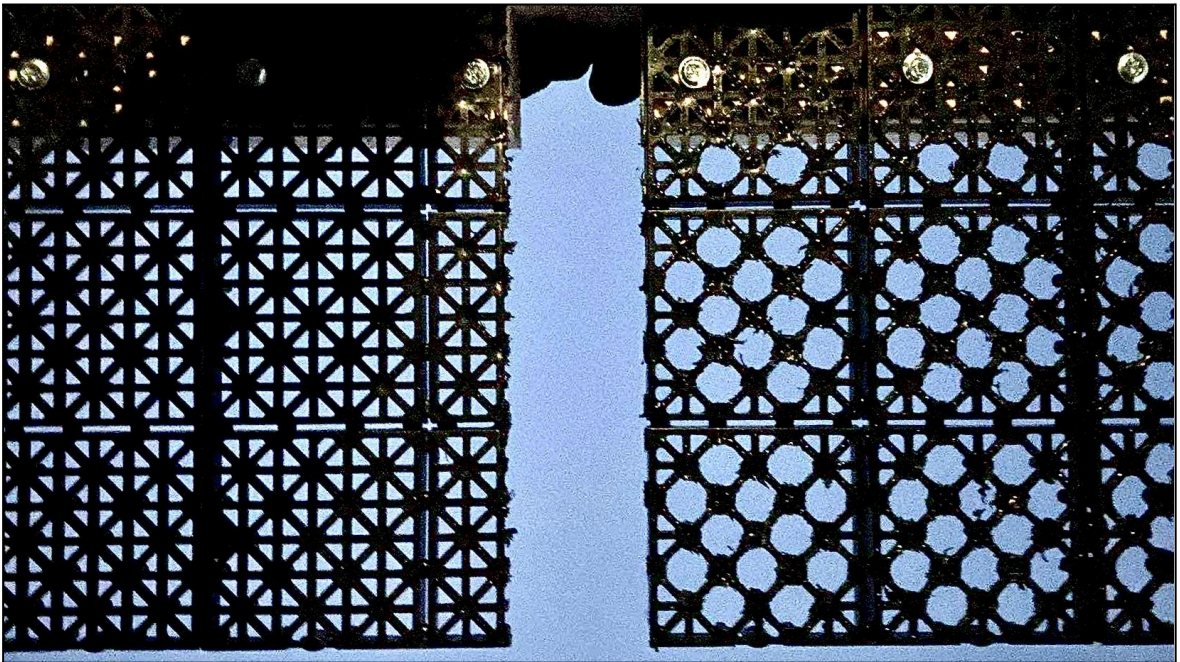
Två plastgaller placerade 120 cm från varandra avgränsade den fiskbärande sträckan. Det främre gallret jämnade ut turbulensen och gav ett mer laminärt flöde, medan det bakre möjliggjorde ett fritt utflöde. Håldiametern (16 mm) var tillräckligt liten för att förhindra att juvenila störrar fastnade (figur 5).

Bottenytan inom den fiskbärande sträckan täcktes med trä för att isolera mot köld samt för att skapa tillräcklig friktion för foder och fisk.

För att förebygga predation täcktes samtliga tråg slutligen med ett finmaskigt kycklingnät.



Figur 4. Vardera tråg delades in i två parallella längsgående banor, genom vilka en cirkulerande ström skapades av strömaggregat (s.k. streamers) via öppningar för vattenflöde i respektive ände.



Figur 5. Två plastgaller med olika profiler höll fiskarna inom en begränsad yta samtidigt som det jämnade ut turbulensen uppströms och släppte ut vattnet nedströms.

3.2.3 Rheotaxis och strömföring

Rheotaxis definierades som den strömhastighet där minst 85 % av fiskarna, över tid, var orienterade mot strömriktningen. För aktuella individer uppmättes tröskelvärde till 2,1 cm/s.

Låg strömhastigheten fastställdes därmed till cirka 1,6 cm/s och hög till 4,5 cm/s. Sammanlagt sex s.k. streamers stod för strömbildningen.

Tråg 1 och 2 tilldelades låg strömhastighet och drevs av ett aggregat vardera, medan tråg 3 och 4 tilldelades hög och drevs av två. Strömhastigheterna mättes upprepade gånger med flottörmetoden (bilaga 2) inom den fiskbärande sträckan, där en centrerad 100 cm sektion markerades för att minimera risken för mätfel i banans inledande och avslutande zoner.

Kalibreringen utfördes genom justering av strömaggregatens riktning och genom att tillföra bromsande plastgaller. Efter kalibrering uppmättes strömhastigheten (tabell 1).

3.2.4 Tilldelning av fisk

Vardera tråg indelades i en bana med gles täthet och en bana med tät täthet (tabell 1). Av statistiska skäl tilläts inte den glesa banan understiga 7 individer. Den täta banan tilldelades 15 individer, begränsat av tillgänglig bottenyta.

Strömhastighet, täthet och antal individer per bana				
Beteckning	Strömnivå	Täthet	Strömhastighet (cm/s)	N (individer)
Tråg 1	Låg	Gles	1,7	7
	Låg	Tät	1,6	15
Tråg 2	Låg	Gles	1,6	7
	Låg	Tät	1,7	15
Tråg 3	Hög	Gles	4,7	7
	Hög	Tät	4,4	15
Tråg 4	Hög	Gles	4,5	7
	Hög	Tät	4,6	15

Tabell 1. Två tråg tilldelades låg strömhastighet och två hög strömhastighet. Varje tråg delades i två banor: en med gles täthet (n=7) och en tät täthet (n=15). Varje behandlingskombination hade därmed i två replikat. Angiven strömhastighet är slutliga medelvärden efter kalibrering.

För att balansera initial kondition stratifierades samtliga individer efter viktklass innan tilldelning. Fiskarna fördelades därefter proportionellt mellan banorna (tabell 2). Mindre justeringar gjordes för att harmonisera banornas medelvikt, vilka slutligen varierade mellan 7,33 och 7,47 g. Längd beaktades inte vid tilldelningen, förutom att individer med avvikande vikt-längdförhållande eller tydligt nedsatt kondition exkluderades.

Fördelning av antal individer (n) per viktklass inom glesa och täta banor

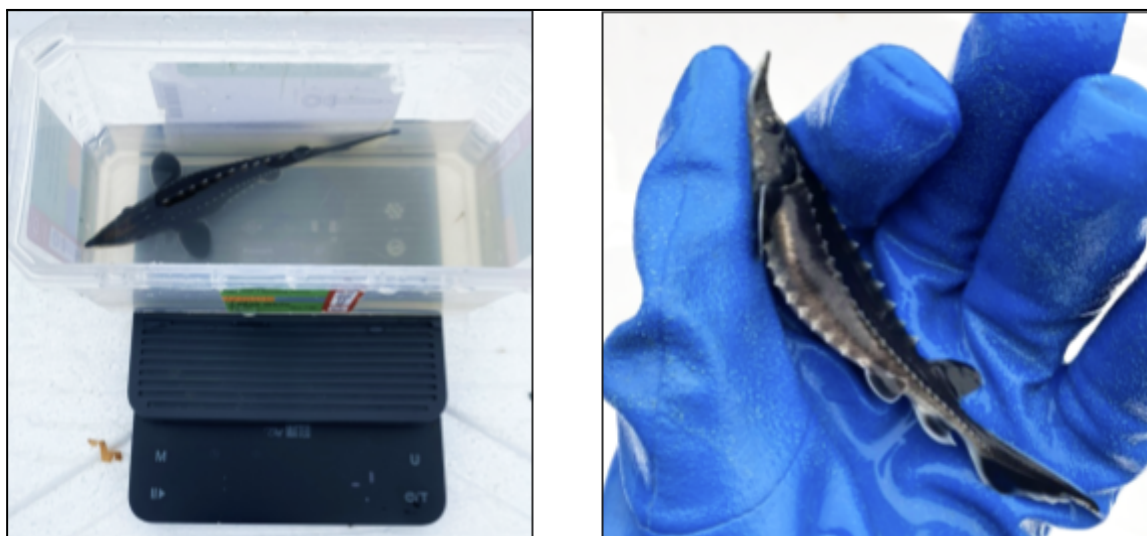
Viktklass (g)	Tråg 1		Tråg 2		Tråg 3		Tråg 4	
	(gles)	(tät)	(gles)	(tät)	(gles)	(tät)	(gles)	(tät)
6	2	5	2	4	3	4	2	4
7	3	6	3	7	2	7	3	7
8	2	4	2	4	2	4	2	4

Tabell 2. Varje bana tilldelades ett proportionellt antal individer utifrån stratifierad viktklass för att balansera fiskarnas initiala kondition och uppnå jämn medelvikt mellan banor och tråg.

För att säkerställa en likvärdig aklimatisering hölls strömmen avstängd under experimentets första vecka. Därefter vägdes och mättes samtliga 88 individer på nytt och strömregimerna aktiverades. Vägning och mätning upprepades sedan veckovis.

3.2.5 Mätning och vägning

Vägning genomfördes i vattenbehållare och vikten registrerades i gram med en decimals noggrannhet. Mätning utfördes direkt i hand för minskad skaderisk. Längden mättes från nosens yttersta spets till stjärtfenans förgrening och registrerades i centimeter med en decimals noggrannhet (figur 6).



Figur 6. Vägning skedde i syresatt och för vikten nollad vattenbehållare. Mätning utfördes direkt i hand där ett lätt tryck mot störens mun skapade ett tillräckligt lugn för snabb och säker kontroll.

Den sammanlagda tiden från upptag till återutsättning understeg vanligen 30 sekunder per individ, inklusive tiden i vågens vattenbehållare. Stressmomenten för fiskarna hölls därmed till ett minimum.

3.2.6 Mätperiod och underhåll

Fisken hölls i rännorna under fem veckor, från mitten av oktober till mitten av november. Eftersom försöksplatsen var belägen i västra Sverige sjönk luft- och vattentemperaturen successivt under perioden. Vattentemperaturen registrerades därför dagligen.

Utfodringen skedde med upptinade röda mygglarver (*Chironomidae*), som arten visat tydlig preferens för. Matningen utfördes två gånger per dag med mat i överflöd, motsvarande cirka 10 % av fiskarnas kroppsvikt per dag, för att säkerställa att fodertillgången inte blev en begränsande faktor i studien. För att undvika systematiska skillnader mellan trägen varierades startpositionen enligt ett rullande schema.

Rengöring utfördes två gånger per vecka: en gång med fullständigt vattenutbyte och en gång där majoriteten av vattenmassan byttes ut.

3.2.7 Justeringar under mätperioden

Under acklimatiseringsveckan identifierades behovet av en isolerande och ljus bottenyta i den fiskbärande sektionen. En träbotten lades därför till för att minska värmeledning under frostnätter och för att möjliggöra visuell kontroll av foder och fisk.

De ursprungligen planerade systematiska beteendeobservationerna fick revideras eftersom turbiditeten ökade markant efter nederbörd. Siktdjupet blev då så lågt att tillförlitliga kvantitativa beteendedata inte kunde inhämtas. Beteendestudierna övergick därför till en kvalitativ observationsnivå, där endast övergripande aktivitetsmönster dokumenterades.

Under mätperiodens sista vecka sjönk vattentemperaturen till kritiska nivåer. Födointag och aktivitet minskade tydligt vid temperaturer under cirka 6 °C, och återkommande frostnätter innebar risk för fiskdöd. Fyra doppvärmare tillfördes därför för att stabilisera temperaturen över 4 °C. Trots detta avslutades experimentet i förtid med hänsyn till fiskarnas hälsa.

3.3 Data- och statistisk analys

3.3.1 Dataanalys

De statistiska analyserna genomfördes i R med hjälp av paketen tidyverse, ggplot2 och car. Rådata bestod av individuella vikt- och längdmätningar. Som kategoriska faktorer kodades tråg (1–4), strömhastighet (låg/hög) och täthet (gles/tät). R-kod kan erhållas på begäran.

Individer kunde inte användas som statistisk enhet då de inte gick att identifiera över tid. Istället användes varje bana inom trägen som observationsenhet, och banans medelvikt per mättillfälle användes i de statistiska analyserna. Individdata användes enbart för att grafiskt illustrera variation och ingick inte i de statistiska analyserna.

3.3.2 Tillväxtmått

För varje bana beräknades medelvikten vid det tillfälle då strömbehandlingen aktiverades (26 oktober). Effekterna av täthet och strömhastighet analyserades sedan utifrån banans medelvikt vid sista provtagningen. Dessa värden användes för att beräkna den specifika tillväxthastigheten (SGR, % per dag) enligt:

$$SGR = (\ln(W_{slut}) - \ln(W_{start})) / d \times 100$$

Där W_{start} och W_{slut} är banans medelvikt vid start respektive slut och d är antalet dagar mellan mätningarna. SGR användes som huvudvariabel i de statistiska analyserna.

3.3.3 Statistisk analys

För att undersöka effekterna av strömhastighet, täthet och deras interaktion på tillväxt analyserades SGR med en tvåväg-ANOVA. Strömhastighet (låg/hög) och täthet (gles/tät) behandlades som fasta faktorer. I denna studie definieras en behandling som en specifik kombination av strömhastighet och täthet, vilket gav fyra behandlingar: låg-gles, låg-tät, hög-gles och hög-tät. Analysen baserades på SGR-värden beräknade för varje bana ($n = 8$).

Modellantaganden (normalfördelning och homogen varians) utvärderades grafiskt med residualplottar. Effekterna testades med typ-II ANOVA.

För att kontrollera för potentiell temperaturvariation mellan banor inkluderades medeltemperaturen per bana ($temp_mean$) som en kontinuerlig kovariat i en utökad modell för specifik tillväxthastighet (SGR). Den utökade modellen specificerades som:

$$SGR \sim \text{strömhastighet} \times \text{täthet} + \text{temp_mean}$$

För att undersöka om initial kroppscondition påverkade tillväxten beräknades Fultons konditionsfaktor (K) för varje individ vid startdatumet (26 oktober). Medelvärdet per bana (K_mean) inkluderades därefter som en kontinuerlig kovariat i en separat linjär modell, eftersom ytterligare kovariater inte kunde inkluderas utan betydande reduktion av frihetsgrader:

$$SGR \sim \text{strömhastighet} \times \text{täthet} + K_mean$$

Kovariansmodellerna för temperatur och initial kroppscondition behandlades som explorativa analyser och redovisas i bilaga 4-6.

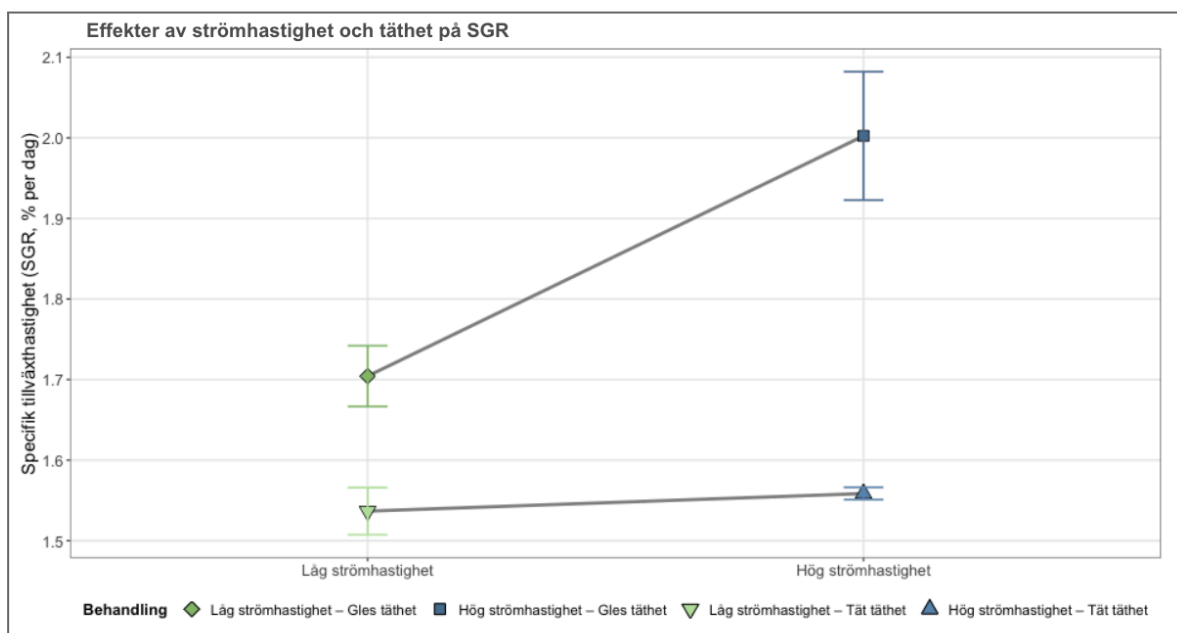
4. Resultat

4.1 Effekter av strömhastighet, täthet och deras interaktion på tillväxt

Strömhastigheten hade en positiv effekt på tillväxten (SGR), där behandlingar med hög strömhastighet uppvisade högre tillväxthastigheter än de med låg strömhastighet ($F_{(1,4)} = 11.81$, $p = 0.026$) (figur 7).

Tätheten hade en starkt signifikant effekt på SGR ($F_{(1,4)} = 43.09$, $p = 0.003$) (figur 7).

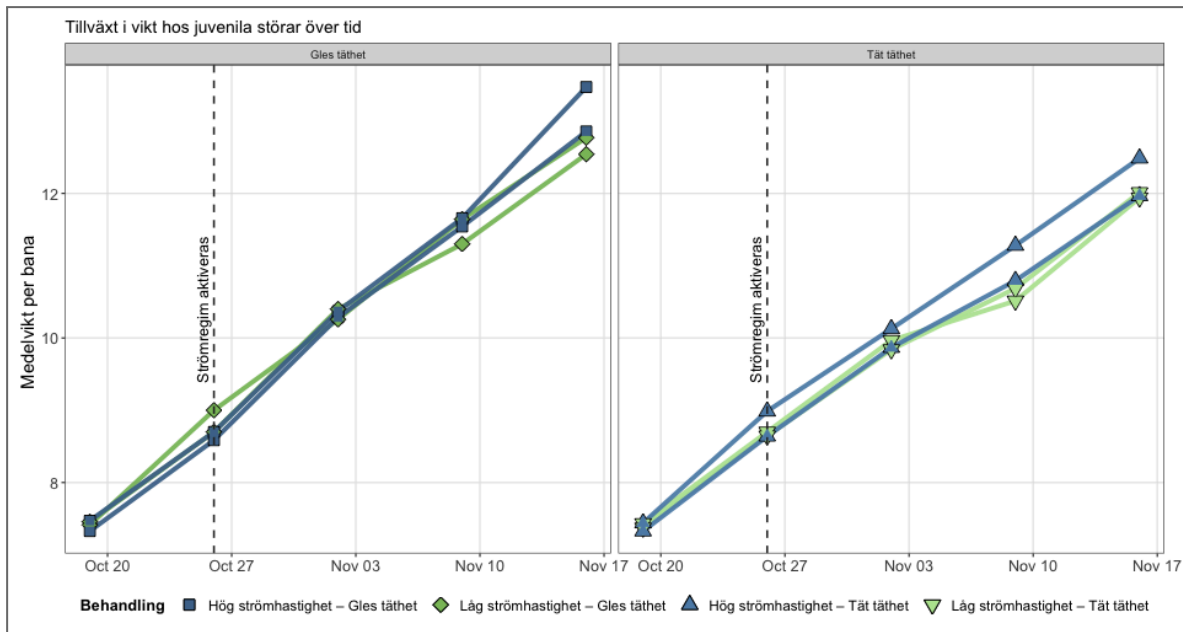
Det fanns även en signifikant interaktion mellan strömhastighet och täthet ($F_{(1,4)} = 8.79$, $p = 0.041$). Detta innebär att effekten av strömhastighet på SGR skiljde sig mellan gles och tät täthet. Den högsta tillväxten observerades i behandlingar med hög strömhastighet i kombination med gles täthet, medan den lägsta tillväxten noterades vid låg strömhastighet och tät täthet (figur 7).



Figur 7. Specifik tillväxt (SGR) hos juvenila atlantstörar vid två strömhastigheter och två tätheter. Symboler visar medelvärden per behandling och felstaplar representerar standardfel. Linjer kopplar nivåerna inom respektive täthet och illustrerar interaktionen mellan strömhastighet och täthet.

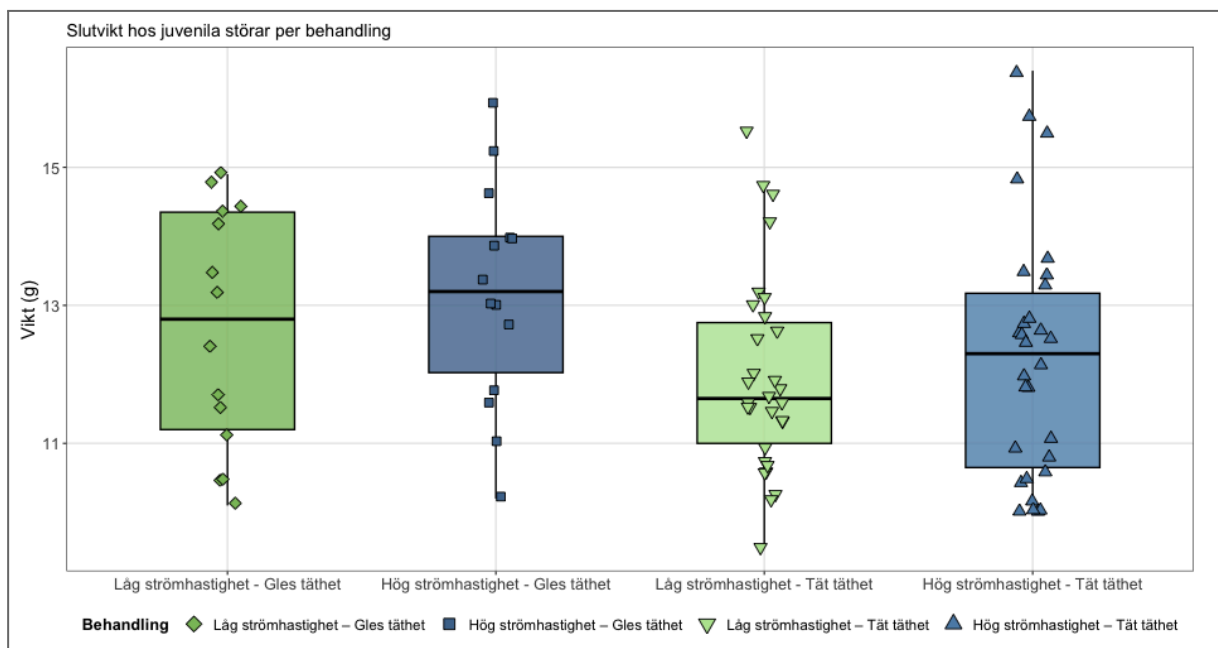
4.2 Tillväxt över tid

Vikten ökade i samtliga behandlingar under försöksperioden. Trots en successiv minskning i medeltemperaturen följde viktökningen samma mönster som SGR. Högst vikter uppmättes i behandlingar med hög strömhastighet och gles täthet, medan lägst vikter noterades i behandlingar med låg strömhastighet och tät täthet (figur 8).



Figur 8. Tillväxt i medelvikt (g) under provperioden i fyra behandlingar. Panelerna visar gles respektive tät täthet. Punkter visar banans medelvikt vid varje provtagningstillfälle och linjer visar utvecklingen över tid. Den vertikala streckade linjen markerar när strömregimen aktiverades.

Slutvikter för de fyra behandlingarna redovisas i figur 9.



Figur 9. Slutvikt i de fyra behandlingarna. Boxarna visar median och kvartiler. Punkterna representerar individuella fiskar.

5. Diskussion

5.1 Effekter av strömhastighet och täthet på tillväxt

Juvenila atlantstörar uppvisade starkare tillväxt vid hög strömhastighet jämfört med låg, trots den förmodade ökade energikostnaden för att bibehålla position i strömmen. Sambandet mellan täthet och tillväxt var tydligt, med högst tillväxt vid glesa behandlingar och lägre tillväxt vid tät täthet.

Interaktionen mellan strömhastighet och täthet var signifikant, där kombinationen av gles täthet och hög strömhastighet resulterade i högre tillväxt än motsvarande strömhastighet under täta förhållanden. Detta indikerar att effekten av strömhastighet på tillväxt är beroende av tätheten, där täthet har ett övergripande inflytande på tillväxten, medan strömhastighetens positiva effekt är som tydligast vid glesa förhållanden.

Sammantaget visar dessa resultat att variation i både strömhastighet och täthet påverkar tillväxtresponserna, och att effekterna delvis interagerar. Detta understryker behovet av att betrakta flera ekologiska faktorer samtidigt vid utformning av uppfödningssystem.

5.1.1 Tätheten av fisk

Att glesare täthet ger starkare tillväxt är knappast överraskande. Dels då stören inte är en stimfisk (Kynard & Horgan, 2002), och dels då tidigare studier har visat liknande mönster (Szczepkowski et al., 2011a). Vid höga tätheter, såsom i praktiska uppfödningssystem, observeras ofta en förhöjd aktivitetsnivå, vilket kan vara förenligt med stressrelaterade beteenden som påverkar tillväxt negativt (Barton, 2002).

5.1.2 Strömhastighet

Att hög strömhastighet gav starkare tillväxt är mer överraskande. Ur ett energiperspektiv förväntas snarare ökad strömföring medföra högre energikostnader för att bibehålla positionen i strömmen, vilket i sin tur skulle begränsa resurserna till tillväxt. Kunskapsläget i frågan är dessutom begränsat, sannolikt för att uppfödningen är relativt ny. Observationer där hög strömhastighet associerats med starkare tillväxt har dock förekommit vid praktisk uppfödning.

De kvalitativa observationerna indikerar att strömhastigheter som utlöser rheotaxis kan vara förenade med ett lugnare beteende hos juvenila atlantstörar. Under dessa förhållanden observerades individerna ofta stillastående på botten, riktade mot strömmen, med begränsad rörelseaktivitet och få interaktioner. Detta står i kontrast till beteendet i låg strömhastighet, där fiskarna var mer rörliga och oftare störde varandra från bottenvila, något som i sin tur kunde leda till perioder av ökad aktivitet vilket tolkas som stressrelaterade beteenden (figur 10).



Figur 10. Kvalitativa observationer av juvenila atlantstörar vid olika strömhastigheter. Vid lägre strömhastighet (tv) uppvisade individerna en högre aktivitetsgrad, medan de vid högre strömföring som inducerade rheotaxis (th) oftare stod stilla på botten, tätt orienterade mot strömmen.

Det är även rimligt att anta att artens morfologi, med strömlinjeformat huvud och rygg, platt buk samt breda, vinkelräta bröstfenor, bidrar till att pressa individerna mot botten snarare än att ge upphov till drift. Därmed kan den ökade energikostnad som ofta förknippas med hög strömhastighet vara begränsad. Liknande mönster har observerats hos laxsmolt som håller ståndplats i strömmande vatten (Davidson et al., 2010).

Ett lugnare beteendemönster vid rheotaxis kan innebära att mer energi kan avvaras för tillväxt. Samtidigt behöver den förväntade ökningen i energikostnad vid hög strömhastighet inte nödvändigtvis realiseras. Tillsammans kan dessa faktorer bidra till att förklara den ökade tillväxt som observerades vid högre strömhastighet. Det är därför rimligt att tolka resultaten som att både beteendemässiga och morfologiska mekanismer samverkar.

Det är därmed möjligt att hög strömhastighet delvis ger liknande effekter som gles täthet, genom minskade interaktioner mellan individer och därmed lägre stressrelaterad aktivitet.

Samtidigt kan alternativa förklaringsmodeller inte helt uteslutas. Exempelvis kan hydrodynamiska effekter kopplade till kroppsstorlek och närhet mellan individer, liksom en ökad metabolism till följd av obegränsad födotillgång, potentiellt bidra till variation i tillväxt. Även om resultaten i denna studie snarare pekar i motsatt riktning, då glesa populationer uppvisade högre tillväxt än täta populationer vid både låg och hög strömhastighet, samt eftersom en sådan metabol effekt rimligen bör ha påverkat samtliga behandlingar i liknande utsträckning, undersöktes dessa mekanismer inte specifikt i denna studie. De bör därför betraktas som möjliga, men inte prövade, förklaringar till de observerade mönstren.

5.1.3 Interaktion

Interaktionen mellan täthet och strömhastighet var tydlig. Kombinationen av gles täthet och hög strömhastighet resulterade i den högsta tillväxten, medan tät täthet i låg strömhastighet gav den lägsta. Resultaten indikerar att de positiva effekterna av ökad strömhastighet delvis motverkas vid hög täthet. Detta blev särskilt framträdande mot slutet av experimentperioden.

Eftersom trågens banor hade fasta mått ökade biomassatätheten successivt i takt med fiskarnas tillväxt. Det är därför rimligt att anta att denna ökade biomassatäthet bidrog till att dämpa strömhastighetens positiva effekt över tid, vilket kan förklara varför skillnaderna mellan behandlingarna var större efter fyra veckor än efter fem.

5.2 Temperatur och konditionsindex

Ingen signifikant effekt av behandlingarna på medeltemperaturen kunde påvisas, och inte heller någon signifikant effekt av initial kondition, beräknad som Fultons konditionsfaktor. Tidiga resultat i studien antydde visserligen att tillväxt i hög strömhastighet tenderade att ge längre men smalare individer, medan låg strömhastighet verkade ge något "bulkigare" fiskar. Denna tendens försvann dock senare under försöksperioden och kan sannolikt hänföras till slumpmässig variation eller till handhavandeeffekter tidigt i experimentet.

Att sådana skillnader inte kvarstod är inte nödvändigtvis oväntat. Det är rimligt att anta att juvenila störrar är evolutionärt anpassade till strömmande vattenmiljöer och att behovet av morfologisk plasticitet därför kan vara begränsat. Detta kan i sin tur bidra till att förklara varför inga signifikanta skillnader i kondition kunde påvisas mellan behandlingarna.

5.3 Begränsningar i stressmätning och metodval

Initialt avsåg studien att undersöka stressnivåer genom blodprov för att mäta kortisol, i syfte att kontrollera fysiologisk stress. Då etiskt tillstånd fortfarande saknas för denna "nya" art fick planerna skjutas på framtiden. Tillväxtrespons valdes därför istället som en indirekt indikator på stress, vilket innebär vissa begränsningar när slutsatser ska dras från experimentet.

Daglig hantering och kontinuerliga observationer gav dock en viss uppfattning om vilka grupper som föreföll mer lugna respektive mer stressade. Dessa informella iakttagelser låg i linje med de mönster som senare sågs i tillväxtdata. Då observationerna inte är systematiskt insamlade kan de endast betraktas som stödjande indikationer, inte som bevisande resultat.

En ytterligare begränsning i experimentet var att banorna inom respektive tråg delade ett cirkulerande vattensystem. Replikaten är därmed inte fullständigt oberoende, vilket bör beaktas vid tolkning av effekter av både strömhastighet och täthet.

5.4 Begränsningar i beteendeanalys

Under experimentet användes ofiltrerat dammvatten, då detta väl motsvarar den vattenkvalitet som juvenila störar exponeras för i sina naturliga uppväxtmiljöer. Detta ökade studiens ekologiska relevans men begränsade samtidigt möjligheten till planerad beteendeanalys.

Vid nederbörd ökade turbiditeten kraftigt, från redan höga nivåer kring 50 NTU till nivåer där siktdjupet blev otillräckligt även vid experimentets grunda vattendjup. Den planerade kvantitativa datainsamlingen av beteendemönster kunde därmed inte genomföras.

Daglig hantering gav dock möjlighet till vissa kvalitativa observationer av beteende och responsmönster. Dessa kunde inte ersätta den uteblivna systematiska datainsamlingen men bidrog till en övergripande förståelse av fiskarnas beteende under försöksperioden.

5.5 Vidare studier

En betydande del av resurserna i denna studie har investerats i uppbyggnaden av den fysiska försöksanläggningen. Med denna etablerad finns nu goda möjligheter för framtida experiment för att öka förståelsen kring tillväxt och välbefinnande både under uppfödning och efter utsättning.

En naturlig fortsättning vore en beteendestudie där kvantitativa aktivitetsdata samlas in systematiskt. En sådan studie skulle kunna bygga vidare på resultaten från detta experiment och pröva de hypoteser om aktivitetsnivå som diskuterats. Om dessa data dessutom kopplades till fysiologiska stressindikatorer, såsom kortisolnivåer, skulle ett mer direkt samband mellan tillväxtrespons och stress kunna undersökas.

Vidare uppmuntras studier kring atlantstörens kognitiva förmågor. Preliminära observationer i denna studie (bilaga 9.7) indikerar att deras responsmönster, avseende flykt- och inlärning, kan avvika från vad som är dokumenterat hos många andra fiskarter.

6. Slutsats

Denna studie visar att tillväxtresponsen hos juvenila atlantstörar inte kan förstås utifrån enskilda miljöfaktorer, utan uppstår genom samspelet mellan strömhastighet, täthet och beteendemönster. Resultaten indikerar att strömförhållanden som utlöser rheotaxis kan ge tillväxtfördelar, särskilt under glesa uppfödningförhållanden, samt att tätheten utgör en central faktor för tillväxt.

Trots vissa metodbegränsningar bidrar studien med ytterligare insikter i ett tidigare sparsamt dokumenterat område och har relevans för framtida uppfödningstrategier och återetablering av arten i Östersjöområdet.

7. Tackord

Stort tack tillägnas min livskamrat och tillika biologimästare Addy Björk, som är själva grundstenen till att denna studie, liksom resan som föranledde den, blivit av. Är dig evigt tacksam, "hjättat".

Tack till mina handledare Johan Höjesjö vid Göteborgs universitet och Dan Calderon vid Miljöteknik i Väst / Naturvårdarna. Tack för värdefulla råd och stöttning längs vägen, och inte minst för finansieringen av forskningsstationen. Att ni dessutom är initiativtagare till återintroduktionen av atlantstören i Göta älv gör min tacksamhet ännu större.

Tack också till kollegor vid Miljöteknik i Väst / Naturvårdarna för praktisk och moralisk hjälp på plats. Tack till projektledare Linnea Jägrud och alla andra på Sportfiskarna för delande av tankar och ambitioner, liksom till alla samarbetspartners inom universitetsvärlden. Tillsammans gör vi framtiden lite vildare.

8. Referenslista

Balazik, M. T., Garman, G. C., Van Eenennaam, J. C., Mohler, J., & Woods, L. C., III. (2012). *Empirical evidence of fall spawning by Atlantic Sturgeon in the James River, Virginia, USA*. *Transactions of the American Fisheries Society*, 141(6), 1465–1471.

<https://doi.org/10.1080/00028487.2012.703157>

Barton, B. A. (2002). Stress in fishes: A diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*, 42(3), 517–525.

<https://doi.org/10.1093/icb/42.3.517>

Bemis, W. E., & Kynard, B. (1997). Sturgeon rivers: An introduction to acipenseriform biogeography and life history. *Environmental Biology of Fishes*, 48(1–4), 167–183.

<https://doi.org/10.1023/A:1007312524792>

Brevé, N. W. P., Nagelkerke, L. A. J., Buijse, A. D., Murk, A. J., Philipsen, P., Nijland, R., & Lenders, H. J. R. (2025). Towards an optimised strategy for reintroducing sea sturgeons (*Acipenser sturio* and *A. oxyrinchus*) to Europe. *Biodiversity and Conservation*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10531-025-03059-0>

Brevé, N. W. P., et al. (2022). Historical reconstruction of sturgeon (*Acipenser* spp.) spatiotemporal distribution and causes for their decline in North-Western Europe. *Biodiversity and Conservation*, 31, 895–922. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02305-9>

Davidson, R. S., Letcher, B. H., & Nislow, K. H. (2010). Drivers of growth variation in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*): An elasticity analysis approach. *Journal of Animal Ecology*, 79(5), 1113–1121. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2010.01708.x>

Froese, R., & Pauly, D. (Eds.). (2024). *FishBase* (Version 2024). Hämtad den 14 november 2025 från <https://www.fishbase.se/summary/FamilySummary.php?ID=32>

Froese, R., & Pauly, D. (Eds.). (2025). *Acipenser oxyrinchus* species summary. *FishBase*. Hämtad den 26 november 2025 från https://www.fishbase.se/FieldGuide/FieldGuideSummary.php?c_code=840&genusname=Acipenser&speciesname=oxyrinchus

Göteborgs naturhistoriska museum. (u.å.). *Störprojektet*. Hämtad 17 nov 2025, från <https://www.gnm.se/samlingar/vad-anvands-samlingarna-till/storprojektet/>

He, F., Svenning, J.-C., Chen, X., Tockner, K., Kuemmerle, T., le Roux, E., Moleón, M., Gessner, J., & Jähnig, S. C. (2024). Freshwater megafauna shape ecosystems and facilitate restoration. *Biological Reviews*, 99(3), 1034–1060. <https://doi.org/10.1111/brv.13062>

HELCOM. (2019). *Action Plan for the protection and recovery of the Baltic sturgeon (Acipenser oxyrinchus) 2019–2029*. Helsinki Commission. <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/11/HELCOM-Baltic-Sturgeon-Action-Plan-2019-2029.pdf>

Hilton, E. J., Kynard, B., Balazik, M. T., Horodysky, A. Z., & Dillman, C. B. (2016). Review of the biology, fisheries, and conservation status of the Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus oxyrinchus* Mitchell, 1815). *Journal of Applied Ichthyology*, 32(S1), 30–66. <https://doi.org/10.1111/jai.13242>

Kolman, R., Kapusta, A., Duda, A., & Wiszniewski, G. (2011). Review of the current status of the Atlantic sturgeon *Acipenser oxyrinchus oxyrinchus* Mitchell 1815, in Poland: Principles, previous experience, and results. *Journal of Applied Ichthyology*, 27, 186–191. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01680.x>

Kullander, S. O., Delling, B., Nyman, L., & Jilg, K. (2012). *Acipenser oxyrinchus*. I *Ryggsträngsdjur: Strålfeniga fiskar. Chordata: Actinopterygii* (pp. 46–47). Uppsala: ArtDatabanken, SLU.

Kynard, B., & Horgan, M. (2002). *Ontogenetic behavior and migration of Atlantic sturgeon, Acipenser oxyrinchus oxyrinchus, and shortnose sturgeon, A. brevirostrum, with notes on social behavior. Environmental Biology of Fishes*, 63(2), 137–150. <https://doi.org/10.1023/A:1014270129729>

Kynard, B., Kieffer, M., Burlingame, M., Vinogradov, P., & Kynard, B. E. (2012). Seasonal movements among river reaches, migration strategies, and population structure of the divided Connecticut River shortnose sturgeon population: The effects of Holyoke Dam. I B. Kynard, P. Bronzi, & H. Rosenthal (Eds.), *Life history and behavior of Connecticut River shortnose sturgeon and other sturgeons* (pp. 1–49). WSCS Special Publication

Logan-Chesney, L. M., Dadswell, M. J., Karsten, R. H., & Wirgin, I. (2013). Use of tidal, riverine, and coastal habitats by Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus*) in Minas Basin, Bay of Fundy, Canada. *Journal of Applied Ichthyology*, 29(6), 1036–1045. <https://doi.org/10.1111/jai.12175>

- Luo, D., Li, J., Li, H., Wang, Z., Wang, W., & Zhang, Y. (2019). Highly resolved phylogenetic relationships within order Acipenseriformes based on single-copy nuclear genes. *PLoS ONE*, *14*(1), e0210783. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210783>
- Lundgren, E. (2024, 26 september). Atlantstör från Göta älv återfunnen i Norge. *Göteborgs universitet*. <https://www.gu.se/nyheter/atlantstor-fran-gota-alv-aterfunnen-i-norge>
- Mitchell, J. M., Kinnison, M. T., Zydlewski, J., & Zydlewski, G. B. (2020). Fecundity of Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus*). *Journal of Applied Ichthyology*, *36*(5), 715–724. <https://doi.org/10.1111/jai.14027>
- McLean, M. F., Simpfendorfer, C. A., Heupel, M. R., Dadswell, M. J., & Stokesbury, M. J. W. (2014). Diversity of behavioural patterns displayed by a summer feeding aggregation of Atlantic Sturgeon in the intertidal region of Minas Basin, Bay of Fundy, Canada. *Marine Ecology Progress Series*, *496*, 59–69. <https://doi.org/10.3354/meps10555>
- Nikulina, E. A., & Schmöcke, U. (2016). Reconstruction of the historical distribution of sturgeons (Acipenseridae) in the eastern North Atlantic based on ancient DNA and bone morphology of archaeological remains: Implications for conservation and restoration programmes. *Diversity and Distributions*, *22*(10), 1036–1044. <https://doi.org/10.1111/ddi.12461>
- Pikitch, E. K., Doukakis, P., Lauck, L., Chakrabarty, P., & Erickson, D. L. (2005). Status, trends and management of sturgeon and paddlefish fisheries. *Fish and Fisheries*, *6*(3), 233–265. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2005.00190.x>
- Szczepkowski, M., Szczepkowska, B., & Piotrowska, I. (2011a). Impact of higher stocking density of juvenile Atlantic sturgeon, *Acipenser oxyrinchus* Mitchill, on fish growth, oxygen consumption, and ammonia excretion. *Archives of Polish Fisheries*, *19*(2), 59–67. <https://doi.org/10.2478/v10086-011-0007-6>
- Szczepkowski, M., & Szczepkowska, B. (2011b). Movement and habitat use of juvenile Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus*) in the Wisłoka River (southern Poland). *Archives of Polish Fisheries*, *19*(3), 95–103. <https://doi.org/10.2478/v10086-011-0011-x>
- Williot, P., Rochard, E., Desse-Berset, N., Kirschbaum, F., & Gessner, J. (Eds.). (2011). *Biology and conservation of the European sturgeon Acipenser sturio L. 1758*. Springer.

9. Bilagor

9.1 Bilaga 1 - Fullständig ANOVA-tabell för SGR-modellen

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (> F)
Ström	1	0,05125	0,05125	11,812	0,02637
Densitet	1	0,18693	0,18693	43,088	0,00279
Ström:densitet	1	0,03814	0,03814	8,792	0,04134
Residuals	1	0,01735	0,00434	-	-

Not. Tabellvärdena visar resultatet av en tvåvägs-ANOVA för SGR med strömhastighet, täthet och deras interaktion som faktorer

9.2 Bilaga 2 - Strömhastighetsmätningar

Tid (s) över 100 cm	Tråg 1		Tråg 2		Tråg 3		Tråg 4	
	gles	tät	gles	tät	gles	tät	gles	tät
Mätning 1	65	68	59	68	23	34	20	24
Mätning 2	62	64	55	56	22	21	14	28
Mätning 3	54	68	70	51	17	17	23	20
Mätning 4	63	60	61	54	25	18	17	14
Mätning 5	60	70	60	63	21	18	22	33
Mätning 6	67	52	58	66	17	23	29	26
Mätning 7	51	61	69	72	22	24	29	14
Mätning 8	62	54	55	54	25	28	24	15
Medel (s)	61	62	61	61	22	23	22	22
Hastighet (cm/s)	1,7	1,6	1,6	1,7	4,7	4,4	4,5	4,6

Not. Åtta flottörmätningar genomfördes per bana över en standardiserad sträcka på 100 cm. Hastighet beräknades som distans/tid och anges i cm/s. Färgkodning endast för visualisering.

9.3 Bilaga 3 - Temperaturmätningar

Temperaturmätningar										
Vecka 1		Vecka 2		Vecka 3		Vecka 4		Vecka 5		
Datum	Temp (C)	Datum	Temp (C)	Datum	Temp (C)	Datum	Temp (C)	Datum	Temp (C)	
19 okt.	11,5	26 okt.	10,7	2 nov.	6,6	9 nov.	8,8	16 nov.	7,5	
20 okt.	11,7	27 okt.	10,3	3 nov.	9,8	10 nov.	8,7			
21 okt.	11,7	28 okt.	9,8	4 nov.	12,2	11 nov.	7,0			
22 okt.	11,6	29 okt.	9,3	5 nov.	10,6	12 nov.	6,8			
23 okt.	11,6	30 okt.	9,4	6 nov.	11,2	13 nov.	7,0			
24 okt.	11,9	31 okt.	4,8	7 nov.	10	14 nov.	7,5			
25 okt.	10,1	1 nov.	9,7	8 nov.	9	15 nov.	4,6			
Medeltemp. (C)		11,4		9,1		9,9		7,2		7,5

Not. Temperaturen mättes dagligen under hela experimentet med en decimal noggrannhet. Inledningsvis registrerades temperaturen i samtliga tråg, men eftersom variationen mellan trågen var försumbar övergick mätningarna till att ett tråg fick representera alla.

9.4 Bilaga 4 - Temperatur som kovariant

Regressionsmodell med temp_mean som kovariat				
Effekt	Estimat	SE	t value	Pr (> t)
Intercept	1,704	0,058	29,38	< 0,001
stromstark	0,298	0,025	11,76	< 0,001
densitetät	-0,168	0,025	-6,61	< 0,001
temp_mean	0,000	0,006	0,000	
stromstark:densitetät	-0,276	0,036	-7,7	< 0,001

Not. Modellen är en regressionsmodell av: $SGR \sim \text{ström} \times \text{täthet} + \text{temp_mean}$
Namngivning enligt R-kodning och där temp_mean avser medeltemperaturen per bana.

9.5 Bilaga 5 - initial kondition som kovariant

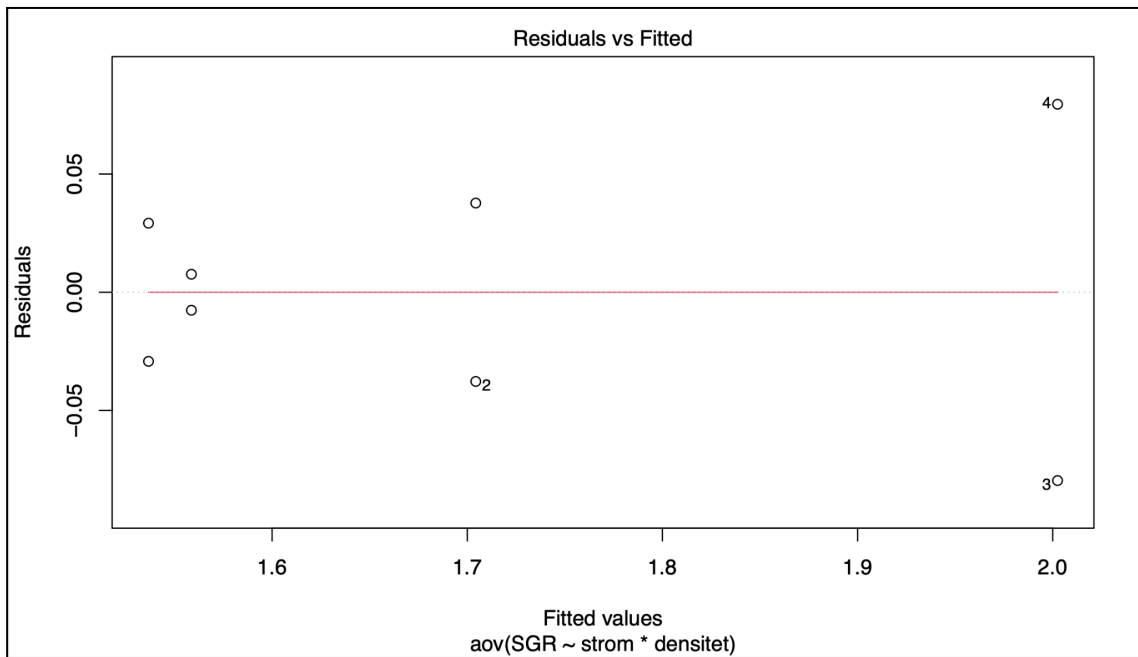
Regressionsmodell med k_mean som kovariat				
Effekt	Estimat	SE	t value	Pr (> t)
Intercept	3,440	1,226	2,807	0,068
stromstark	0,301	0,059	5,103	0,015
densitettät	-0,213	0,067	-3,178	0,050
K_mean	-2,154	1,519	-1,471	0,252
stromstark:densitettät	-0,287	0,084	-3,432	0,042

Not. Modellen är en regressionsmodell av: $SGR \sim \text{ström} \times \text{täthet} + K_mean$
Namngivning enligt R-kodning och där K_mean avser medelvärdet av Fultons konditionsfaktor per bana vid försöksstart.

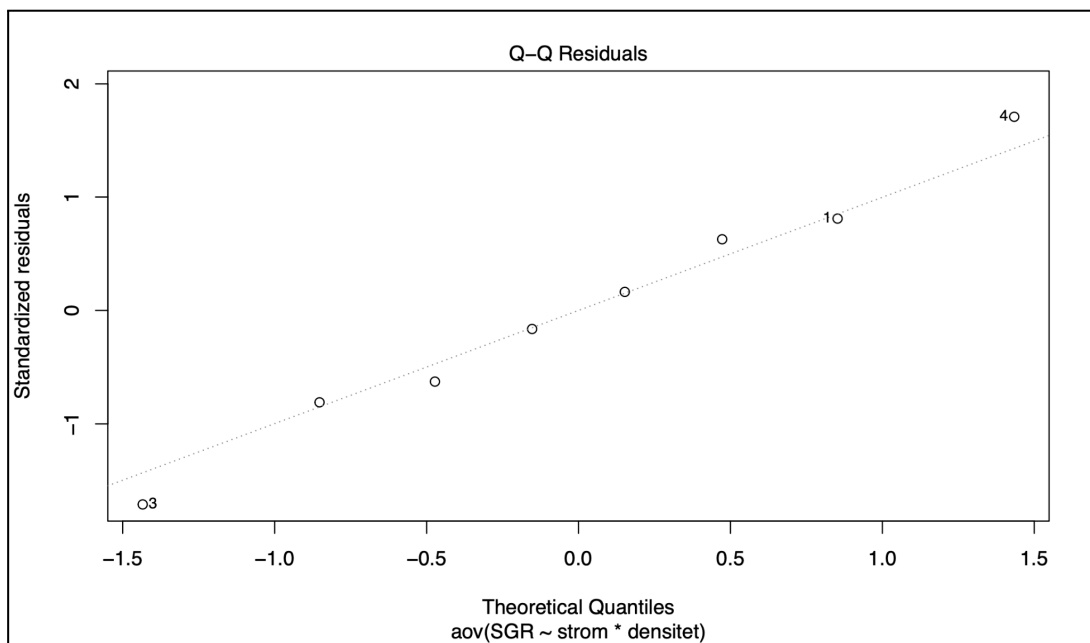
9.6 Bilaga 6 – Diagnostik av modellantaganden

Bilaga presenterar diagnostiska figurer för att utvärdera den linjära modellen för SGR. Residualplottar inkluderas för varians och normalfördelning och explorativa samband mellan SGR och två potentiella kovariater. Figurerna används som visuellt stöd för att bedöma modellens giltighet.

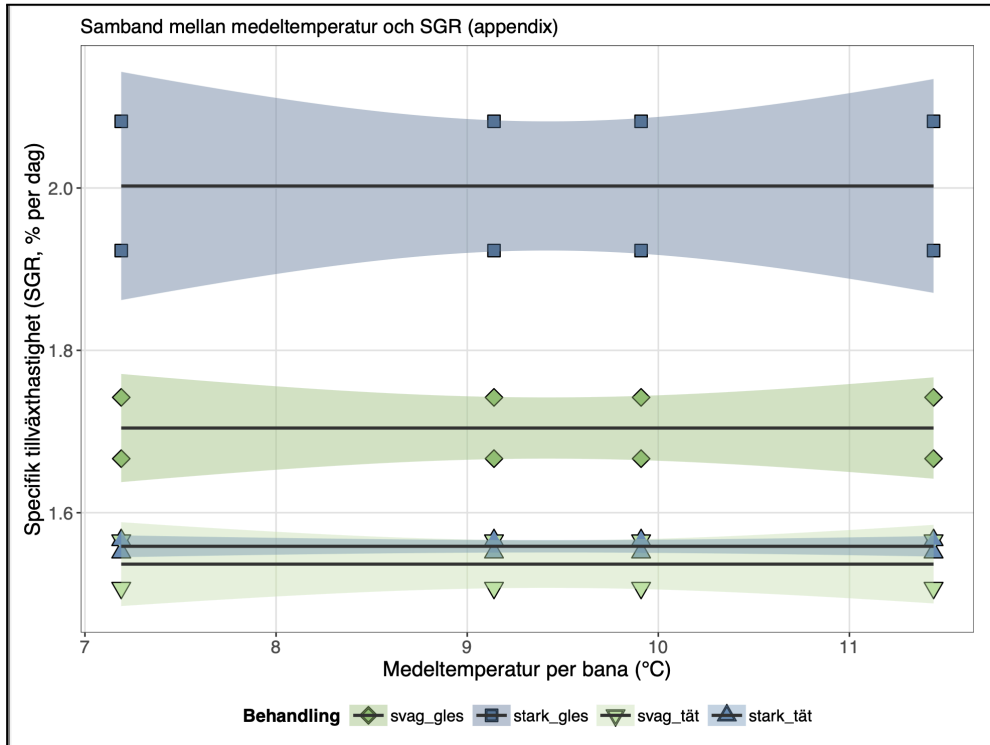
9.6.1 Residuals vs Fitted



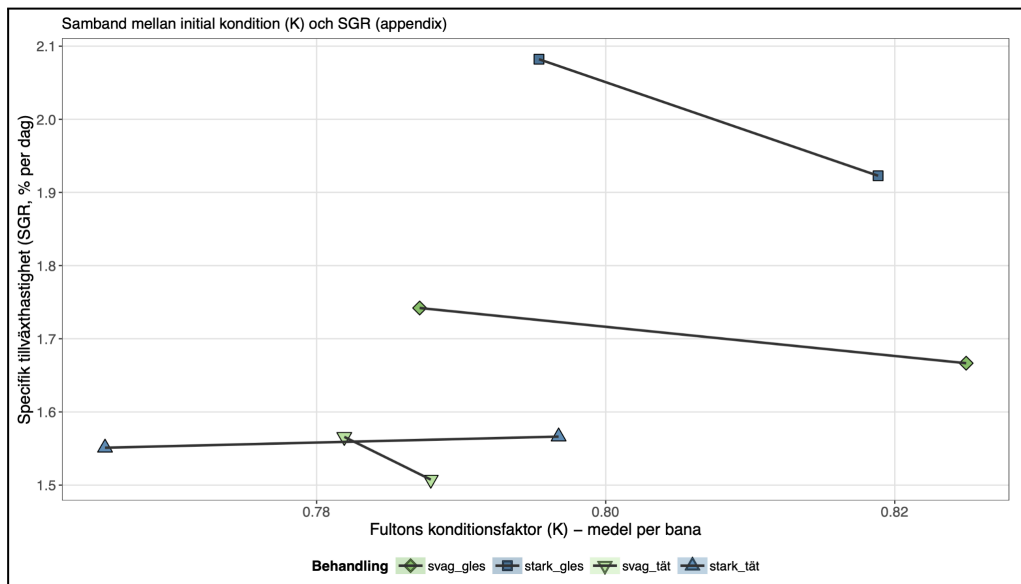
9.6.2 Normal Q-Q-plot för residualer



9.6.3 Samband mellan medeltemperatur (temp_mean) och SGR



9.6.4 Samband mellan initial kondition (K_{mean}) och SGR



Not. De diagnostiska figurerna visar inga tydliga avvikelser från modellens antaganden. Modellen bedöms därmed uppfylla kraven för linjär regressionsanalys.

9.7 Bilaga 7 - Beteendeobservationer

Sammanfattning av kvalitativa observationer	
Moment	Observation
Allmän aktivitet	Lugna röreslemönster. Vila på botten eller långsamt simmande strax ovanför. Några gånger per dygn något som liknar födosöksperioder.
Ufodring	Ingen förhöjd aktivitet vid matning. Närmast ointresserade eller omedvetenhet kring utfodringen.
Uppdykande	Ytterst sällan skrämsel vid uppdykande. Vid skrämsel endast hos enskilda individer och endast hos en minoritet. Inga kaskadefekter av flykt skapas.
Hantering	Relativt lugn. Sällan flykt från infångande. Sällan något flyktbeteende i vare sig håv, hand eller vid vägning i behållare.
Inläring	Ingen uppenbar inläring av repetitiva moment. Ingen skillnad i beteende kring matning eller mätning i början eller slutet av experimentet.
Specifik aktivitet - svag ström	Högre aktivitet. Flera uppe och simmar till synes planlöst någon till några minuter. Ofta skapas en kedjereaktion där den aktive aktiverar nästa. Stor spridning över området. Ytterst sällan återfinns alla i vila samtidigt dagtid.
Specifik aktivitet - stark ström	Mycket låg aktivitet och lugn dynamik. Fler än 85% av individerna riktade mot strömmen vid varje observationstillfälle. Ofta samtliga i vila på botten tätt inpå varandra utan interaktion. Ytterst liten spridning över bottenområdet.
Specifik aktivitet - gles densitet	Lugnare aktivitetsnivå. Viss fördelning över bottenytan
Specifik aktivitet - tät densitet	Högre aktivitetsnivå. Högre grad av interaktion mellan individer. Högre spridning över bottenytan

Not. Observationerna är kvalitativa och baseras på daglig tillsyn. De är inte standardiserade och utgör inte underlag för kvantitativ analys.