



# Hur skiljer sig passageaktivitet mellan stensimpa och svartmunnad smörbult i slitsrännor?

---

Ludvig Junehag

Självständigt arbete • 15 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Institutionen för akvatiska resurser (SLU Aqua)  
Biologi- och miljövetenskapsprogrammet  
NJ-fakulteten  
Uppsala 2023



## Hur skiljer sig passageaktivitet mellan stensimpa och svartmunnad smörbult i slitsrännor?

Ludvig Junehag

<b>Handledare:</b>	<b>Ann-Britt Florin, SLU, Institutionen för akvatiska resurser</b>
<b>Bitr. handledare:</b>	Lo Persson, SLU, Institutionen för Vilt, fisk och miljö
<b>Examinator:</b>	Kerstin Holmgren, SLU, Institutionen för akvatiska resurser
<b>Omfattning:</b>	15 hp
<b>Nivå och fördjupning:</b>	Grundnivå, G2E
<b>Kurstitel:</b>	Självständigt arbete i Biologi, G2E
<b>Kurskod:</b>	EX0894
<b>Program/utbildning:</b>	Biologi- och miljövetenskapsprogrammet
<b>Kursansvarig inst.:</b>	Institutionen för Vatten och Miljö
<b>Utgivningsort:</b>	Uppsala
<b>Utgivningsår:</b>	2023
<b>Upphovsrätt:</b>	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
<b>Nyckelord:</b>	Svartmunnad smörbult, Stensimpa, Invasiva arter, Fiskpassage, Slitsrännor, Artificiell intelligens, Vattenkraft, Biologisk mångfald...

### **Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för akvatiska resurser (SLU Aqua)  
Kustlaboratoriet

## Sammanfattning

Syftet med den här studien var att undersöka och jämföra passageaktivitet hos inhemsk stensimpa och invasiv svartmunnad smörbult i slitsrännor, för att se om det finns vattenhastigheter som förhindrar uppströmspassager av svartmunnad smörbult men tillåter fri passage av stensimpa. En mindre del av arbetet kretsade kring att undersöka om artificiell intelligens (AI) är ett användbart verktyg för att analysera videomaterial från denna typ av försök.

För att undersöka detta analyserades videomaterial från försök utförda i Vattenfalls ”laxelator” i Älvkarleby. Försöken genomfördes med stensimpa och svartmunnad smörbult vid två olika vattenhastigheter (låg- och medelhastighet). Antalet passager registrerades genom manuell filmanalys och jämfördes även med passager registrerat av AI.

Resultat från analysen visade att stensimpan hade en signifikant högre passageaktivitet än svartmunnad smörbult vid medelhastighet. Båda arterna hade en högre passageaktivitet vid låg vattenhastighet än vid medelhastighet, men de båda kunde genomföra uppströmspassager vid både låg- och medelhastighet. Vid jämförelse av manuellt registrerade passager och AI-registrerade passager gick det att se att AI kunde genomföra detektioner men att flertalet passager felregistrerades.

Slutsatser som kan dras är att AI inte gick att använda som ett pålitligt verktyg i denna studie och att justering av programmeringen behövs. Stensimpa hade en signifikant högre passageaktivitet än svartmunnad smörbult i slitsrännor, men fler studier behöver genomföras vid exempelvis fler vattenhastigheter för att kartlägga mer genomgående skillnader.

*Nyckelord:* Svartmunnad smörbult, Stensimpa, Invasiva arter, Fiskpassage, Slitsrännor, Artificiell intelligens, Vattenkraft, Biologisk mångfald ...

## Abstract

The purpose of this study was to investigate and compare the passage activity of the native European bullhead and invasive round goby in vertical slot fish passes, to examine if there were water velocities that prevent the spread of round goby while enabling free passage of European bullhead. A smaller part of this study revolved around investigating the potential of using artificial intelligence (AI) as a tool for identifying up- and downstream fish passages from video material obtained in this study.

To investigate this, video material was analysed from tests carried out in Vattenfall’s “laxelator” in Älvkarleby. The tests were conducted in two different water velocities (low- and medium) with European bullhead and round goby. The number of passages were registered by manual analysis of video material and compared with the passages registered by AI.

Results from the analysis showed that European bullhead had a significantly higher passage activity than round goby at medium water velocity. Both species had a higher passage activity at low water velocity than medium velocity, but both species were able to complete upstream passages at both velocities.

When comparing manually registered passages and AI-registered passages, it was shown that AI could detect both species, but a large number of passages were mis-registered.

The conclusion of this study is that AI could not be used as a reliable tool in this case, and adjustments of the programming are necessary. European bullhead had a significantly higher

passage activity than round goby, but more studies are needed, for example in more velocities, to examine the differences more thoroughly.

*Keywords:* Round goby, European bullhead, Invasive species, Fish passes, Vertical slot fish passes, Artificial intelligence, Hydropower, Biodiversity...

# Innehållsförteckning

<b>Förkortningar</b> .....	<b>7</b>
<b>Inledning</b> .....	<b>8</b>
1.1.1 Vattenkraft och miljöpåverkan .....	9
1.1.2 Vattenkraft och nya miljövillkor .....	9
1.2 Bakgrund.....	10
1.2.1 Invasiva arter och fiskpassager .....	11
1.2.2 Slitsrännor.....	12
1.2.3 Beteendestudier.....	12
1.3 Syfte och frågeställning.....	13
<b>Material och Metod</b> .....	<b>14</b>
2.1.1 Försöksuppställning .....	14
2.1.2 Filmanalys.....	15
2.2 Jämförelse av passageaktivitet.....	17
2.2.1 Manuell analys.....	17
<b>Resultat</b> .....	<b>20</b>
3.1.1 Passageaktivitet – manuell analys .....	20
3.1.2 Jämförelse av passageaktivitet – statistisk analys .....	21
3.1.3 Jämförelse mellan AI och manuell analys .....	21
<b>Diskussion</b> .....	<b>24</b>
4.1.1 Skillnader i passageaktivitet – jämförelser och påverkan.....	24
4.1.2 Begränsningar med studien.....	25
4.1.3 Framtiden.....	26
<b>Referenser</b> .....	<b>28</b>
<b>Tack</b> 30	
<b>Bilaga 1</b> .....	<b>31</b>
<b>Bilaga 2</b> .....	<b>33</b>

# Förkortningar

SLU	Sveriges lantbruksuniversitet
AI	Artificiell intelligens
HaV	Havs- och vattenmyndigheten

# Inledning

Jordens yta täcks till mindre än 1% av sötvattensmiljöer. Trots den procentuellt lilla ytan är just sötvatten en av de miljöer som innehåller den största biologiska mångfalden. Närmare 10% av alla djurarter är arter som på något sätt är beroende av sötvattensmiljöer (Williams-Subiza & Epele 2021). Sötvatten anses vara bland de mest utsatta miljöerna då dess biologiska mångfald minskar snabbare än den minskning som sker i terrestra miljöer.

De fem största drivande faktorerna som påverkar förlusten av biodiversitet är förändrade vattenflöden, vattenföroreningar, överexploatering, allmänt förändrade livsmiljöer och att sötvatten utsätts för främmande arter (ibid.).

Mänskliga avsiktliga och oavsiktliga introduktioner av främmande arter är något som blir allt vanligare, detta i och med en ökad globalisering i form av nöjesresor, varutransporter och annan internationell handel (Naturvårdsverket u.å.). När den fysiska interaktionen mellan olika delar av världen ökar, skapas fler tillfällen där främmande arter kan introduceras till nya miljöer. Introduktionen sker vanligen genom att den främmande arten av misstag följer med som en biprodukt till handelsvaror eller exempelvis barlastvattnet på fartyg. Arter kan även introduceras medvetet genom trädgårdsodling, fiskodling, uppfödning och stödutsättningar av djur som i fallet med signalkräftan (HaV 2015).

En främmande art som introducerats till en miljö som uppfyller de förutsättningar som krävs för att arten skall utveckla livskraftiga populationer riskerar att bli invasiv. Med invasiv menas att arten på ett eller annat sätt har möjligheten att påverka andra arter eller miljön negativt, detta genom att vara en stark konkurrent till inhemska arter när det kommer till habitat och resurser. Det kan även vara att den på annat sätt sänker livsvillkoren för inhemska arter (SLU Artdatabanken 2022).

Bland de främmande arterna i Sverige är det ungefär 100 arter som lever i vatten, varav omkring 39 av dem är fiskar som enligt SLU Artdatabanken kan räknas som invasiva i varierande grad. Invasivitetsgraden klassificeras med avseende på hur stor risken är att arten kan komma att bli invasiv. Invasivitetsklasserna är 1) NK – Ingen känd risk, 2) LO – Låg risk, 3) PH – potentiell hög risk, 4) HI – Hög risk och 5) SE – mycket hög risk (Bjelke 2020; Strand mfl. 2018). Det är i dagsläget nio fiskarter som är bedömda i kategorin ”mycket hög risk”, det vill säga den klassen som löper störst risk att vara invasiv i Sverige (Strand mfl. 2018).

När en främmande art väl etablerat sig är det svårt att i efterhand avlägsna arten helt. Det är därför av yttersta vikt att arbeta förebyggande för att i förtid minska den potentiella spridningen (ibid.).

### 1.1.1 Vattenkraft och miljöpåverkan

Vattenkraft är en viktig energiresurs för Sverige och hittills under 2000-talet har vattenkraften stått för ungefär 33% upp till 48% av landets totala energiproduktion (Halvarsson 2023). Vattenkraft kommer ur miljösynpunkt både med för- och nackdelar. Det är en förnyelsebar energikälla som spelar en bidragande roll i att minska Sveriges utsläpp av växthusgaser. Den är därför en viktig del av den process som skall ta Sverige till uppsatta miljömål gällande exempelvis begränsad klimatpåverkan och frisk luft samt målet om 100% förnybar energiproduktion (Sveriges Miljömål u.å.).

Vattenkraften har även en stor betydelse genom att det är en reglerbar energikälla, det vill säga att den inte är väderberoende då det finns möjlighet att magasinera vatten i kraftdammar. Kraftdammar möjliggör att en energiproduktion kan fortskrida även under perioder med mindre nederbörd och vattenförekomster. Denna reglerbarhet bidrar till ett balanserat elsystem där produktion och förbrukning kan stå i jämvikt (Halvarsson 2023).

Vattenkraft kommer dock med negativa konsekvenser, framför allt i form av att den försämrar livsmiljöer och därav minskar den biologiska mångfalden. Kraftverk och dammar utgör i sig vandringshinder för vattenlevande organismer och begränsar därför spridning. De kan kraftigt begränsa tillgänglighet och tillgången på lämpliga lekområden för exempelvis lax och öring, men även andra organismer som är beroende av sammanhängande habitat kan påverkas negativt (ibid.).

### 1.1.2 Vattenkraft och nya miljövillkor

År 2000 infördes det Europeiska ramdirektivet för vatten, även kallat vattendirektivet. Direktivet infördes i Svensk lagstiftning år 2004 och dess huvudpunkter kretsar kring att Europeiska länder skall ha vatten av god kvalitet och i tillräcklig mängd både kortsiktigt och långsiktigt (HaV 2020 b). I linje med vattendirektivet tog regeringen år 2020 ett nytt beslut gällande omprövningar av miljövillkor som omfattar vattenkraft, med syftet att gynna vattenmiljön (ibid.). Beslutet innebär att verksamheter och dess befintliga tillstånd omprövas mot miljöbalkens bestämmelser i (11 kap 27 § Miljöbalken 1998:808). Kan verksamheter som bedriver vattenkraft möta de krav som ställs gällande moderna miljövillkor, tillåts verksamheten att producera vattenkraftsel (Persson 2020).

Omprövningen av miljövillkor är något som på sikt är tänkt att minska de negativa effekter som vattenkraft har på vattnet och den kringliggande miljön. En huvudpunkt i att öka biologisk mångfald och förbättra miljön i vattensystem är att



minska negativa effekter som uppkommit genom fragmentering. Detta genom att skapa fisk och faunapassager vid vattenkraftverk och tillhörande kraftdammar (Wiegleb et al. 2023). När konnektivitet ökar vid kraftverk kommer spridningen av både inhemska och invasiva arter öka uppströms (ibid.).

## 1.2 Bakgrund

Svartmunnad smörbult (*Neogobius melanostomus*) är en av de mer framträdande invasiva arterna i svenska vatten. Det är en art som är kategoriserad som ”mycket hög risk” i SLU artdatabankens riskklassificeringssystem över invasiva arter (Strand mfl. 2018). Svartmunnad smörbult är en fisk ur familjen smörbultar som naturligt har sin utbredning kring det svarta- och kaspiska havet (SLU Artdatabanken u.å. a).

Det är en bentisk art som likt simpor saknar simblåsa. Avsaknaden av simblåsa tillsammans med dess robusta kroppsform gör dessa arter till sämre simmare än pelagiska arter. Till skillnad från pelagiska arter som med hjälp av dess strömlinjeformade kropp och simblåsa med lätthet kan röra sig i strömmande vatten, simmar bentiska arter ofta i korta stötar där de emellanåt håller sig fast i bottensubstratet (burst-and-hold) (Egger et al. 2021).

Den svartmunnade smörbulten föredrar habitat med mycket stenar och hålrum där det finns goda möjligheter att gömma sig (SLU Artdatabanken u.å. a). Det är i huvudsak en stationär och starkt territoriell art men den har påvisats migrera med en hastighet på mellan 500m per år upp till 4km per år (Kornis et al. 2012; Wiegleb et al. 2023; SLU Artdatabanken u.å. a). Säsongsbaserad vandring mellan grunda och djupa vatten förekommer också, men de bakomliggande faktorerna är ännu inte helt klarlagda. Vanligen är säsongsbaserad migration kopplad till vattentemperaturförändringar, lek, predation eller födoresurser (Carlson et al. 2021).

Något som kännetecknar arten är att individer har sammansmälta bukfenor som tillsammans bildar en sugskiva på undersidan av kroppen (SLU Artdatabanken u.å. a). Den svartmunnade smörbulten är en anpassningsbar och tålig euryhalin art, vilket betyder att den har förmågan att leva och reproducera sig i både söt- och saltvatten (ibid.).

Den huvudsakliga födan består främst av musslor och snäckor, men den livnär sig även på andra fiskar och kräftdjur samt fiskrom (ibid.). Svartmunnad smörbult återfinns i dagsläget längs hela Sveriges västkust och längs östkusten sträcker sig dess utbredning till Husum söder om Örnköldsvik (Nyheter & Quayle 2022). Arten har med största sannolikhet blivit introducerad till Sverige genom barlastvatten från fartyg (HaV 2022).

Svartmunnad smörbult har liknande preferenser när det kommer till habitat och födoresurser, som den inhemska stensimpan (*Cottus gobio*).

Stensimpa är en inhemsk art ur familjen simpor som återfinns i de flesta svenska vatten utom i högre fjällområden, Öland och höglandet i Småland (SLU Artdatabanken u.å. b). Den är framför allt en sötvattensart men förekommer även i brackvatten. Likt den svartmunnade smörbulten är arten bottenlevande och föredrar steniga bottenar med mycket håligheter där den kan hålla sig gömd under dagtid (Roje et al. 2021). Stensimpan förekommer i bäckar, floder och sjöar och föredrar grunda snabbt strömmande vatten. Den är till stor del en stationär art men förflyttning förekommer. Förflyttningar varierar mellan allt från 10 till 270m (Knaepkens et al. 2005). Längre förflyttningar har påvisats bero på att vattendrag utsatts för mänsklig påverkan i form av exempelvis vandringshinder, däribland vattenkraftverk och dammar, vilket har lett till en minskning av lämpliga livsmiljöer. När livsmiljöerna minskat behöver stensimpan förflytta sig längre för att hitta lämpliga habitat, vilket ställer krav på att vattendragen har en hög konnektivitet (Knaepkens et al. 2005; Naturvårdsverket 2020).

Studier med både naturliga och simulerade habitat har genomförts vilka påvisar att både stensimpa och svartmunnad smörbult uppfyller samma ekologiska nisch, men att svartmunnad smörbult har en högre konkurrenskraft och därmed en negativ inverkan på stensimpa (Roje et al. 2021).

### 1.2.1 Invasiva arter och fiskpassager

Eftersom vattenkraft och tillhörande vattenmagasin ofta utgör vandringshinder för vattenlevande organismer, är en miljöförbättrande åtgärd att återskapa konnektivitet och minska fragmentering och dess negativa effekter. Detta görs genom att anlägga fisk och faunapassager som tillåter vattenlevande organismer att passera fritt förbi vattenkraftverk. Att tillåta fri passage är något som kommer att gynna biologisk mångfald då det tillåter ett större genetiskt utbyte mellan populationer i olika delar av vattensystemet (Wiegler et al. 2023). Vid anläggning av fiskpassager kommer både inhemska och invasiva arters framkomlighet att underlättas. En miljöåtgärd i form av en fiskpassage kan därav komma att verka negativt på den biologiska mångfalden långsiktigt, om invasiva arter lyckas sprida sig uppströms i vattensystemet (ibid.).

Det har genomförts studier som framgångsrikt förhindrat spridningen av den invasiva signalkräftan (*Pacifastacus leniusculus*) uppströms genom selektiva passager (Frings et al. 2013). Selektiva passager ingår i ett område under utveckling där jämförande data över spridningsförmåga hos både invasiva och inhemska arter behövs för att utveckla området vidare (Egger et al. 2021).

De vanligast använda fiskpassagera i dagsläget är naturliga fiskpassager som likt namnet är tänkta att likna naturliga vattenströmmar och därigenom kan användas av ett stort antal arter. Naturliga passager dras antingen runt (omlöp), igenom (inlöp) eller över vandringshindret (överlöp) och utformas utifrån hur den omgivande vattenmiljön ser ut när det kommer till hydromorfologiska egenskaper

(Persson 2020). Utöver naturlika passagelösningar finns tekniska passagelösningar. Dessa är vanligtvis konstruerade i betong eller trä och är till synes inte utformade för att efterlikna naturliga vattenströmmar. De har trots detta bevisats vara en effektiv lösning som vid rätt utformning kan tillåta fri passage åt ett flertal arter (HaV 2020 a).

Jämfört med tekniska passagelösningar är naturlika passagelösningar inte lika väl anpassade till vattendrag som har stora variationer i flöde och är därför bättre lämpade till mindre vattendrag. De kräver även stora utrymmen för att bibehålla normala vattenflöden. Exempelvis bör omlöp från naturlika passagelösningar inte ha en större lutning än 1-2%, vilket betyder att varje meter fallhöjd kräver en passagesträcka på 100 meter (Persson 2020).

### 1.2.2 Slitsrännor

Slitsrännor är en passagelösning som idag ofta används då man väljer en teknisk passagelösning. Slitsrännor tillämpas ofta vid vattenkraftsanläggningar där stora fluktuationer i vattenflöde är vanligt eller utrymmet är begränsat.

Slitsrännor är en passagelösning som är väl lämpad till att öka konnektivitet i vattendrag för ett flertal arter däribland svagsimmande arter, vars passageförmåga är sämre än den hos en starksimmande art som exempelvis öring (ibid.). Detta då anpassningar i bottenstruktur och slitsrännans lutning kan specificeras baserat på platsen och arten i fokus (HaV 2020 a; Persson 2020).

### 1.2.3 Beteendestudier

I samband med arbetet kring att återskapa konnektivitet i svenska vattendrag, vilket bland annat syftar till att gynna den inhemska arten stensimpa, riskerar vi att möjliggöra uppströmsspridning av svartmunnad smörbult. I forskningsprojektet ”Svartmunnad smörbult – förvandla risk till resurs (2021-2024)” studeras bland annat om det är möjligt att förhindra oavsiktlig spridning av arten i fiskpassager. En del av experimentet går ut på att undersöka spridningsegenskaper och beteenden i konstgjorda fiskpassager. I detta examensarbete analyseras data ifrån ett av dessa experiment.

I takt med att teknik blir mer avancerad utvecklas nya hjälpmedel tänkta att underlätta arbetet med naturvård. Ett exempel på ett sådant hjälpmedel är artificiell intelligens (AI). AI är något som har börjat att användas som ett hjälpmedel vid naturvård, detta i form av att exempelvis tidseffektivisera bearbetningen av större mängder data (Kwok 2019).

I ett försök att automatisera och på tidseffektivisera arbetet med filmanalys användes AI vid försöken i denna studie.

### 1.3 Syfte och frågeställning

Syftet med den här studien är att genom filmanalys kartlägga och jämföra passageaktivitet mellan invasiv svartmunnad smörbult och inhemsk stensimpa i slitsrännor. Genom tester vid olika vattenhastigheter kan en indikation erhållas gällande om det går att förhindra passage av svartmunnad smörbult och samtidigt möjliggöra fri passage åt stensimpa.

Frågeställningar:

- 1) Kan svartmunnad smörbult göra uppströmpassager i slitsrännor?
- 2) Hur påverkas arternas passageaktivitet vid olika vattenhastigheter?
- 3) Hur skiljer sig passageaktiviteten mellan stensimpa och svartmunnad smörbult i en slitsränna?
- 4) Kan AI användas som ett verktyg för att identifiera fiskpassager av stensimpa och svartmunnad smörbult i slitsrännor?

# Material och Metod

## 2.1.1 Försöksuppställning

I september 2021 genomförde forskare vid SLU ett flertal försök vid Vattenfalls Laxelator i Älvkarleby där två konstgjorda slitsrännor konstruerades. Tre olika arter (svartmunnad smörbult, stensimpa och abborre) placerades i grupper i rännorna under ungefär 20 timmar varvid deras beteende filmades med övervakningskameror. Denna studie har fokus på två av arterna, svartmunnad smörbult och stensimpa. Fångsten av svartmunnad smörbult skedde vid Stockholmsområdet med hjälp av ryssjor och de acklimatiserades gradvis till sötvatten under några dagar. Stensimpa fångades i Dalälven och angränsande vattendrag genom elfiske. Alla fiskar svalt under 24 timmar innan de genomförde försök i slitsrännan.

Detta är en studie vars tanke är att jämföra vandringförmåga. Att mäta förmåga är svårt då det inte går att styra fiskens motivation till att göra uppströmpassager. Beslut gällande en arts vandringsförmåga blir därför inte legitimt då fiskens motivation kan påverkas av olika miljöfaktorer och andra företeelser (Kemp 2016). På grund av detta kommer istället ordet passageaktivitet användas, då aktivitet är en egenskap som går att mäta.

För att jämföra passageaktiviteten mellan stensimpa och svartmunnad smörbult genomfördes 8 försök totalt (se tabell 1). Två försök genomfördes vid låg vattenhastighet och två försök vid medelhastighet för vardera art. Utöver detta genomförde stensimpa två försök vid hög vattenhastighet. Vattenhastighet uppmättes i den första av slitsrännans tre sektioner. För att öka fiskens motivation att göra passager fäste forskare en påse med fiskmat högst upp i slitsrännan och ungefär 30 minuter in i varje försök rördes en fiskhåv i startsektionen för att stimulera fisken att röra på sig.

Den lägsta hastigheten hade ett flöde på 100 liter per sekund med en medelhastighet vid botten på 0,37 meter per sekund. Den mellersta hastigheten hade ett flöde på 120 liter per sekund och en medelhastighet vid botten på 0,68 meter per sekund. Den högsta hastigheten hade ett flöde på 170 liter per sekund och medelhastigheten vid botten uppmättes till 0,81 meter per sekund.

Försöken pågick under 20 timmar, men jämförelsen i den här analysen gjordes under ett tvåtimmarsintervall från och med att videoövervakningen startade och fiskarna var placerade i startsektionen. Avgränsningen att kolla på de två första

timmarna baserades på preliminära analyser av AI datat som visade att de allra flesta fiskdetektionerna gjordes inom detta intervall.

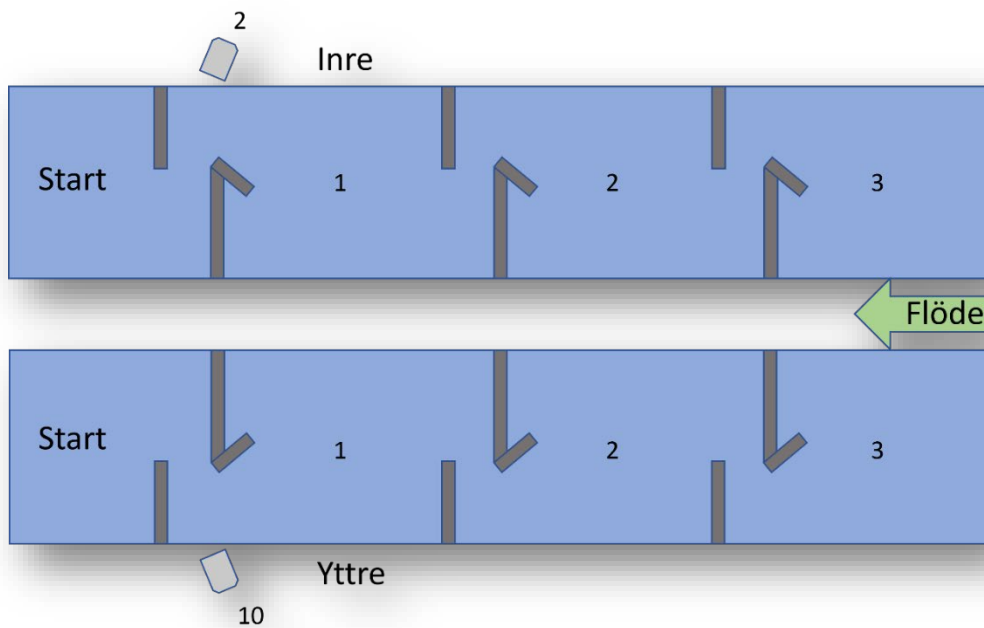
I de första två försöken med svartmunnad smörbult i låg hastighet visade det sig att alla individer var sjuka. Försöken med de sjuka individerna räknades därför inte med i analysen. Istället infångades ny fisk från Gävlebukten och två nya försök genomfördes vid låg hastighet, och det är dessa som är med i analysen. Inga försök gjordes med svartmunnad smörbult i hög hastighet på grund av tidsbegränsad tillgänglighet till försöksfastigheten och att individer blev sjuka.

Tabell 1. En tabell över försöksupplägget. Varje box representerar ett försök med tillhörande information gällande art, datum, slitsränna, hastighet, start- och avslutningstid samt individantal. Försök med överstruken text är försöken där svartmunnade smörbultar var sjuka.

Stensimpa 09-sep Yttre - kamera 10 Hastighet - Låg Stark - 14.50 Avslut - 16.50 Individantal: 20	Stensimpa 13-sep Inre - Kamera 2 Hastighet - Låg Start - 13.45 Avslut - 15.45 Individantal: 20	Stensimpa 14-sep Inre - Kamera 2 Hastighet - Medel Start - 14.50 Avslut - 16.50 Individantal: 20	Stensimpa 15-sep Yttre - Kamera 10 Hastighet - medel Start - 14.24 Avslut - 16.24 Individantal: 20	Stensimpa 16-sep Inre - Kamera 2 Hastighet - Hög Start - 14.15 Avslut - 16.15 Individantal: 20	Stensimpa 21-sep Yttre - Kamera 10 Hastighet - Hög Start - 12.05 Avslut - 14.05 Individantal: 21
<del>Smörbult 08-sep Yttre - kamera 10 Hastighet - Låg Start - 14.55 Sjuka smörbultar ...</del>	<del>Smörbult 09-sep Inre - Kamera 2 Hastighet - Låg Start - 16.00 Sjuka smörbultar ...</del>	Smörbult 22-sep Inre - Kamera 2 Hastighet - Låg Start - 14.48 Avslut - 16.48 Individantal: 15	Smörbult 22-sep Yttre - Kamera 10 Hastighet - Låg Start - 14.48 Avslut - 16.48 Individantal: 14	Smörbult 27-sep Inre - Kamera 2 Hastighet - Medel Start - 13.30 Avslut - 15.30 Individantal: 20	Smörbult 27-sep Yttre - Kamera 10 Hastighet - Medel Start - 13.30 Avslut - 15.30 Individantal: 20

## 2.1.2 Filmanalys

Experimentet övervakades med kameror och analysen avgränsades till att endast använda film från den första sektionen, då det är den som ger information om den studerade arten kan genomföra passager vid en specifik vattenhastighet (se figur 1). Syftet var inte att kolla om fisk kan passera alla tre av slitsrännans sektioner utan att kolla om fisk kunde göra passager vid olika vattenhastigheter.



Figur 1. Experimentets två slitsrännor med de kameror som användes i jämförelsen utritade (egen illustration)

För att avgöra vad som ansågs vara en fullständig upp- eller nedpassage användes en zonuppdelningsprincip utvecklad i samarbete med Gustav Wedell på Vattenfall. Principen är utvecklad för att användas vid AI-analys av passageaktivitet och bygger på att det filmövervakade området delas in i fyra olika zoner som tillåter en standardiserad videoanalys (se figur 2).

Rörelser från zon 3 till och med 1 räknades som en fullständig uppströmspassage, och rörelse från zon 1 till och med 3 räknades som en fullständig nedströmspassage. Zon 4 är ett område som täcker slitsrännans vägg närmast kameran, detta område räknades endast med i analysen om fisken som passerade zonen rörde sig från zon 3 eller 1, genom zon 4 för att sedan hamna i zon 1 respektive zon 3. Bedömning av vad som räknades som ett försök till att passera uppströms gjordes visuellt utifrån att enskilda individer tydligt gjorde en ansträngning att simma mot vattenflödets riktning.



Figur 2. AI-algorithmens zoner användes som hjälpmedel för att beskriva passagerens karaktär (bild från AI-beskrivningsunderlag).

### AI-analys

AI-registrering av fiskpassager baserades på en zonuppdelningsprincip (se figur 2). Med hjälp av en algoritm som gav ett unikt ID varje gång en fisk befann sig i bild kunde passager registreras och kodas med avseende på vilka av zonerna fisken passerade. En fisk som vandrade från zon 3 genom zon 2 för att slutligen hamna i zon 1 räknades som en fullständig passage uppströms. Vid en fullständig nedströmspassage rörde sig fisken från zon 1 till och med zon 3.

AI-detekterade passager noterades automatiskt i en Excel-fil och i en sammanfattad film med passager. Noteringarna jämfördes sedan med den manuellt genomförda filmanalysens detektioner.

## 2.2 Jämförelse av passageaktivitet

### 2.2.1 Manuell analys

Den data som jämförelsen baserades på erhöles vid varje enskilt försök i slitsrännan. De första två timmarna från de enskilda försökens övervakningsfilm bearbetades och detektioner samt dess typ noterades i text. Vid detektioner noterades först tiden, därefter antecknades en beskrivning kring vilka av de fyra uppdelningszoner som omfattades. En fullständig uppströmspassage omfattade zon 3 till och med zon 1 (se figur 3). Om detektionen endast omfattade en zon noterades detta antingen som ett försök till passage eller en osäkerhet. Om det framgick tydligt att fisken genomförde en ansträngning registrerades detta som ett försök till passage.





*Figur 3. Exempel på en fullständig uppströmpassage där fisken simmat från zon 3, igenom zon 2 för att slutligen hamna i zon 1 (bild från övervakningsfilm).*

Osäkerheter noterades vid de fall där fisk uppträdde avvikande, exempelvis när en fisk rörde sig i vattenytan eller nära kameraglasets på ett sådant sätt att detektionens karaktär var svår att bedöma (se figur 4).



*Figur 4. Detektion manuellt registrerad som en osäkerhet (bild från övervakningsfilm).*

När detektionernas tidpunkt och typ var noterade, sammanställdes de bekräftade passagera i en Excel-fil som sedan användes vid jämförelsen (se bilaga 1, tabell A1).

För statistisk analys användes ett Chi<sup>2</sup>-test baserat på den data som erhöles i filmanalysen. Detta för att testa om det var någon signifikant skillnad mellan stensimpa och svartmunnad smörbult när det kommer till passageaktivitet, och om det fanns någon signifikant skillnad i passageaktivitet vid olika vattenhastigheter. För att testa resultatet statistiskt genomfördes ett chi<sup>2</sup>-test med utgångspunkt att det inte fanns någon signifikant skillnad mellan arternas passageaktivitet vid låg- och medelhastighet. För att mäta signifikans användes ett gränsvärde på 0,05.

# Resultat

## 3.1.1 Passageaktivitet – manuell analys

Den manuella filmanalysen påvisade att antalet passager genomförda av stensimpa minskade med en ökad vattenhastighet, medan antalet försök ökade (se tabell 2).

Tabell 2. Data från manuell filmanalys av försök med stensimpa.

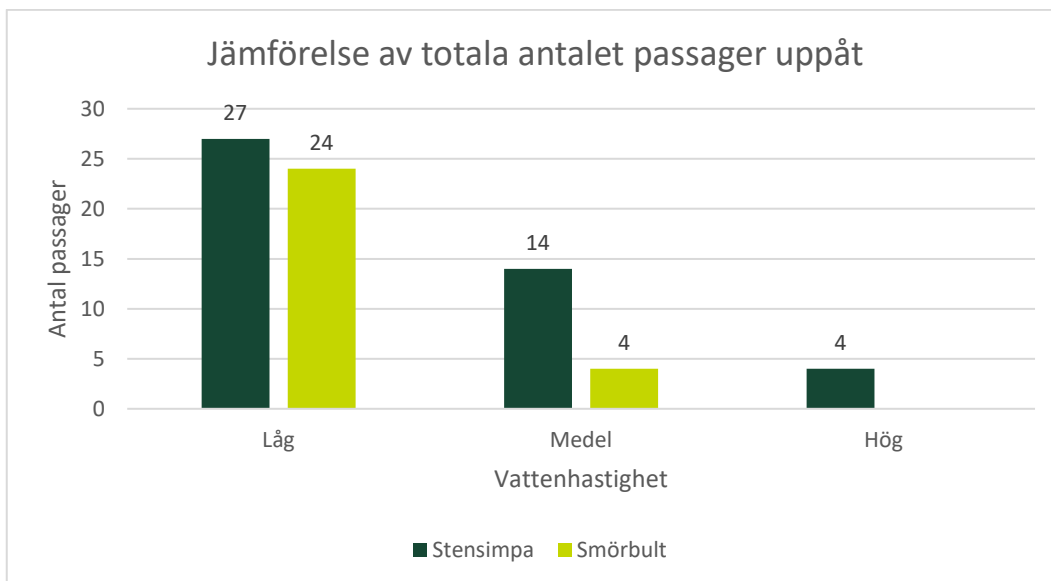
Stensimpa	Datum	Hastighet	Uppströms- passage	Nedströms- passage	Försök till passage
	09-sep	Låg	14	4	3
	13-sep	Låg	13	4	8
	14-sep	Medel	9	5	9
	15-sep	Medel	5	3	7
	16-sep	Hög	3	3	49
	21-sep	Hög	1	1	24

Antal passager genomförda av svartmunnad smörbult minskade med en ökad vattenhastighet, men antalet försök ökade (se tabell 3).

Tabell 3. Data från manuell filmanalys av försök med svartmunnad smörbult.

Svartmunnad smörbult	Datum	Hastighet	Uppströms- passage	Nedströms- passage	Försök till passage
	22-sep	Låg	16	11	8
	22-sep	Låg	8	4	3
	27-sep	Medel	1	1	113
	27-sep	Medel	3	3	95

Totalt genomförde stensimpa 27 uppströmspassager vid låg hastighet och 14 uppströmspassager vid medelhastighet. Svartmunnad smörbult genomförde totalt 24 uppströmspassager vid låg hastighet och fyra uppströmspassager vid medelhastighet (se figur 5).



Figur 5. Diagram över registrerade uppströmpassager för vardera art. Observera att smörbulten inte testades vid hög hastighet.

### 3.1.2 Jämförelse av passageaktivitet – statistisk analys

Resultatet visade att stensimpa hade en högre passageaktivitet än den svartmunnade smörbulten ( $\text{Chi}^2=5,73$ ;  $\text{df}=1$ ;  $P=0,017$ ).

Vid jämförandet av hur passageaktivitet skiljde sig mellan hastigheter gick det att se att både stensimpa och svartmunnad smörbult har en högre passageaktivitet vid den lägre hastigheten ( $\text{Chi}^2=18,41$ ;  $\text{df}=1$ ;  $P<0,001$ ).

Vid jämförelse av passageaktivitet vid olika hastigheter gick det att se att stensimpa hade en högre aktivitet vid låg hastighet ( $\text{Chi}^2=4,12$ ;  $\text{df}=1$ ;  $P=0,042$ ).

Svartmunnad smörbult hade en signifikant högre passageaktivitet vid låg hastighet än vid medelhastighet ( $\text{Chi}^2=14,28$ ;  $\text{df}=1$ ;  $P<0,001$ ).

Det var ingen signifikant skillnad av passageaktivitet mellan stensimpa och svartmunnad smörbult vid låg vattenhastighet ( $\text{Chi}^2=0,18$ ;  $\text{df}=1$ ;  $P=0,674$ ).

Det var en signifikant skillnad av arternas passageaktivitet vid medelhastighet, och det gick att se att stensimpa hade en högre aktivitet än svartmunnad smörbult ( $\text{Chi}^2=5,56$ ;  $\text{df}=1$ ;  $P=0,018$ ).

### 3.1.3 Jämförelse mellan AI och manuell analys

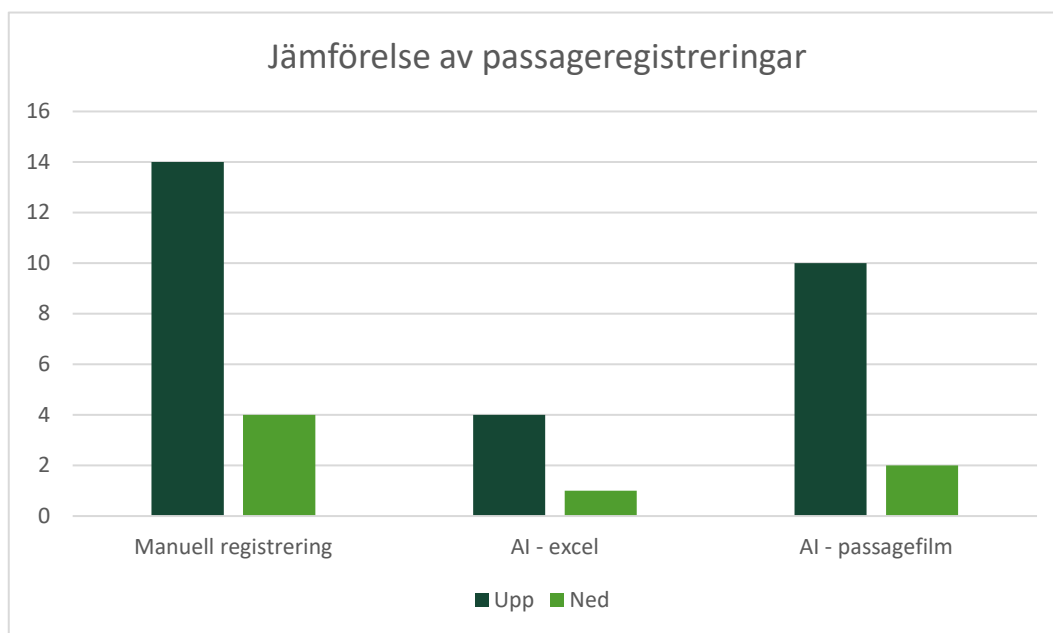
Det skedde ett flertal felregistreringar där AI bland annat registrerade uppströmpassager, när det vid jämförelse med manuella registreringar gick att se att det endast var rörelsedetektioner. Det kunde exempelvis handla om att det var en fisk som rörde sig förbi kameraglasat i en och samma zon (se figur 6).



*Figur 6. Felregistrerad uppströmspassage (bild från övervakningsfilm).*

Det var framträdande i de automatiserade Excelnoteringarna att AI gjorde felregistreringar. Flertalet av de manuellt registrerade passagerna gick att återfinna i de sammanfattade passagefilmerna baserat på AI (se bilaga 2, tabell A2), men registreringar AI gjorde i Excel var inte av samma typ som i passagefilmerna. Exempelvis kunde en uppströmspassage detekteras felaktigt som en rörelsedetektion omfattande en zon i Excel.

I de sammanfattade passagefilmerna som genererades av AI togs även rörelsedetektioner felaktigt med. Exempelvis togs totalt fyra uppströmspassager och en nedströmspassage med i Excel-filen noterat av AI i försöket med stensimpa den 9 september 2021. I samma försök detekterade AI 10 uppströmspassager och två nedströmspassager i passagefilmen. Manuellt registrerades 14 uppströmspassager och fyra nedströmspassager (se figur 7).



Figur 7. Jämförelse av AI- och manuellt registrerade passager.

# Diskussion

## 4.1.1 Skillnader i passageaktivitet – jämförelser och påverkan

Syftet med den här studien var att undersöka och jämföra passageaktiviteten hos stensimpa och svartmunnad smörbult. Detta för att få fram information om det finns möjligheter att förhindra svartmunnad smörbult att sprida sig uppströms samtidigt som stensimpan tillåts fri passage.

Genom filmanalys gick det att se att stensimpan generellt hade en högre passageaktivitet än svartmunnad smörbult, och den kunde också genomföra passager vid den högsta vattenhastigheten. Det gick att observera uppströmspassager av svartmunnad smörbult både vid låg- och medelhastighet, men passageaktiviteten var lägre vid medelhastighet. Svartmunnad smörbult var alltså inte förhindrad att göra uppströmspassager i en slitsränna vid de testade vattenhastigheterna.

Både stensimpan och svartmunnad smörbult hade en högre passageaktivitet vid den lägre vattenhastigheten än vid medelhastighet. Mellan arterna var det ingen signifikant skillnad i passageaktivitet vid låg hastighet, men vid medelhastighet hade stensimpan däremot en signifikant högre passageaktivitet än svartmunnad smörbult.

Frekvensen av passageförsök var märkbart högre för svartmunnad smörbult vid medelhastighet vilket tyder på att dess framgång påverkades negativt av en ökad vattenhastighet.

Det går att se likheter mellan denna studie och Eggers (2021) när det kommer till antal passageförsök, då svartmunnad smörbult gjorde märkbart fler passageförsök än stensimpan vid högre hastigheter i båda studier. Resultat i båda studier tyder också på att aktiviteten hos smörbult minskar med en ökad vattenhastighet (Egger et al. 2021).

Eggers (2021) jämförde passageaktivitet mellan stensimpan och den svartmunnande smörbulten i tre olika hastigheter med flöden på 80L/s, 105L/s och 130L/s. Studien utfördes även delvis med vandringshinder och olika bottensubstrat, vilka är faktorer som har en inverkan på passageaktiviteten då båda arterna nyttjar bottensubstratets struktur för att hålla sig fast när de simmar mot vattenflödet (ibid.).

Då många faktorer har en inverkan på en arts vandringsförmåga går det inte att utifrån dessa resultat dra några slutgiltiga slutsatser om fiskarnas vandringsförmåga i de olika hastigheterna som testades. Vandringsförmåga är beroende av bland annat biologiska faktorer som är svåra att kontrollera i artificiella sammanhang (Wiegleb et al. 2023). Individerna i försöken måste till exempel vara motiverade till att göra uppströmpassager. Det kan möjligen vara att individer som inte genomförde uppströmpassager kan ha haft en bristfällig motivation, och behöver nödvändigtvis inte sakna förmågan att göra fullständiga passager (Kemp 2016; Persson 2020). Det finns en risk att försökens omständigheter kan ha haft en negativ inverkan på specifika individers motivation att genomföra passager, och detta är något som därav bör uppmärksammas.

Däremot ger resultaten i denna studie en indikation på att stensimpan kan ha en bättre vandringsförmåga i högre vattenhastigheter än den svartmunnade smörbulten i slitsrännor. Vilket möjligen skulle kunna utnyttjas för att begränsa den invasiva arten svartmunnad smörbult och dess påverkan på inhemska arter.

Något som också är värt att notera är att i denna studie kan en och samma fisk ha genomfört ett flertal upp- och nedströmpassager, då det inte var möjligt att identifiera unika individer vid analysen. Detta påverkar inte resultatet i studien då den utformats efter att bedöma passageaktivitet inom arten, inte passageaktivitet på individnivå.

### *AI som verktyg*

Att dra slutsatser kring om AI kan användas som ett legitimt verktyg kan vara svårt på grund av att för lite data analyserades (se bilaga 2). Från de resultat som analyserades talade dock dessa för att AI i rådande utformning behöver finjusteras för att öka både specificiteten och sensitiviteten. Flertalet registreringar detekterades felaktigt av AI som passage/detektion, samt missades ett högt antal faktiska passager att registreras av AI.

Tidpunkten för de manuellt registrerade passagera och AI passager sammanföll inte med varandra vid en närmare jämförelse vilket också indikerar att AI är opålitligt verktyg att använda vid analys av passageaktivitet i den här studien.

## 4.1.2 Begränsningar med studien

Om studien hade genomförts igen hade en högre tidfördelning kunnat läggas på undersökningen av AI, då det är ett viktigt och intressant område för framtida forskning. AI har stor potential och kommer bli ett mer värdefullt verktyg för att bearbeta data som manuellt är tidskrävande att gå igenom. En mer genomgående studie kring hur artificiell intelligens kan tillämpas i fiskpassager hade varit gynnsamt. Manuell filmanalys likt den i denna studie är tidskrävande. Med ett



verktyg som AI hade tiden lagd på exempelvis registrering av passageförsök kunnat läggas på granskning av sammanställd AI-data.

### *Felkällor*

Något som kan ses som en felkälla är att alla videoinspelningar inte hade startat precis vid den tidpunkt då fiskarna placerades i startsektion. Det kan ha påverkat resultatet då det genomgående var högst passageaktivitet tidigt under försöken (se bilaga 1).

Något som också är värt att belysa är att i denna studie genomfördes inget försök med den svartmunnade smörbulten i den högsta hastigheten. För att identifiera en hastighet där svartmunnad smörbult inte kan passera skulle fler och högre hastigheter behöva testas.

Det visade sig vara färre svartmunnade smörbultar i de två försöken vid låg hastighet den 22 september 2021, där individantalet var 15 respektive 14 individer. Det var även ett försök med stensimpa vid hög hastighet den 21 september 2021 där individantalet var 21. Alla försöken genomfördes alltså inte med 20 individer, vilket skulle kunna räknas som en felkälla då detta kan komma att påverka resultatet. Experimentet kan ha underskattat smörbultens passageaktivitet vid låg hastighet.

### 4.1.3 Framtiden

En paradox som skapas när vattenkraftverk miljöanpassas med bättre fiskpassager är att den ökade konnektiviteten i vattendragen eventuellt ökar spridning av invasiva arter (Wiegleb et al. 2023). Samtidigt är det miljöanpassningar som på sikt ska skapa en bättre vattenmiljö, rikare biologisk mångfald och ett större genetiskt utbyte mellan ned- och uppströmslevande populationer. Detta sätter krav på att de miljöanpassningar som tillämpas utvecklas i takt med att spridningen av invasiva arter ökar. Studier likt den här krävs för att få en ökad förståelse kring hur det rent tekniskt går att minska spridningen av invasiva arter, genom exempelvis reglerad vattenhastighet i slitsrännor.

Genom att kontrollera spridningsparametrar som den svartmunnade smörbulten är beroende av, exempelvis bottenstruktur och vattenhastighet, skulle det eventuellt gå att skraddarsy fiskpassager på ett sätt som gör dem okompatibla med svartmunnad smörbult. En sak att ha i åtanke är att anpassa en passagelösning efter specifika arter kan komma att påverka andra arter som också ska passera negativt. Hur stor den påverkan kan komma att vara är artspecifik och beroende av passagelösningens utformning och typ.

Att analysera längre tidsintervall från övervakningsfilmerna hade möjligen kunnat ge mer information kring skillnader i passageaktivitet mellan svartmunnad

smörbult och stensimpa, då arternas aktivitet kan skilja sig under dygnet. Genom att kolla på längre tidsintervall kanske skillnader i passageaktivitet även vid lägre hastigheter blivit mer synliga.

Desto mer det går att specificera skillnader mellan arter, desto bättre kommer framtida passagelösningarna kunna utformas. Därför är det viktigt att fortsatta studier görs både inom artspecifika beteendestudier och tekniska studier inriktade på fiskpassager och dess kompatibilitet med olika arter.

## Referenser

- Bjelke, U. (2020). *Främmande arter i svenska sötvatten – en översikt*. (25). Uppsala: SLU Artdatabanken.
- Carlson, E., Paddock, R.W. & Janssen, J. (2021). Seasonal offshore/inshore migration of round gobies. *Journal of Great Lakes Research*, 47 (3), 892–899. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2021.03.005>
- Egger, B., Wiegleb, J., Seidel, F., Burkhardt-Holm, P. & Emanuel Hirsch, P. (2021). Comparative swimming performance and behaviour of three benthic fish species: The invasive round goby (*Neogobius melanostomus*), the native bullhead (*Cottus gobio*), and the native gudgeon (*Gobio gobio*). *Ecology of Freshwater Fish*, 30 (3), 391–405. <https://doi.org/10.1111/eff.12592>
- Frings, R.M., Vaeßen, S.C.K., Groß, H., Roger, S., Schüttrumpf, H. & Hollert, H. (2013). A fish-passable barrier to stop the invasion of non-indigenous crayfish. *Biological Conservation*, 159, 521–529. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.12.014>
- Halvarsson, A. (2023). Vattenkraft eller vattenmiljö? En analys av ramvattendirektivets implementering till följd av den nationella omprövningen av vattenkraft. <https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/74965> [2023-05-15]
- HaV (2015). *Vad är invasiva främmande arter? Havs- och vattenmyndigheten*. <https://www.havochvatten.se/arter-och-livsmiljoer/invasiva-frammande-arter/vad-ar-invasiva-frammande-arter.html> [2023-05-13]
- HaV (2022). *Vattnets vanligaste invasiva främmande arter. Havs- och vattenmyndigheten*. <https://www.havochvatten.se/arter-och-livsmiljoer/invasiva-frammande-arter/tips-for-dig-som-privatperson/vattnets-vanligaste-invasiva-frammande-arter.html> [2023-05-04]
- HaV a (2020). *Generellt om passagelösningar. Havs- och vattenmyndigheten*. <https://www.havochvatten.se/arbete-i-vatten-och-energiproduktion/vattenkraftverk-och-dammar/miljo--och-skyddsatgarder/vagledning-for-fisk--och-faunapassager/generellt-om-passagelosningar.html> [2023-05-16]
- HaV b (2020). *Program vattenmiljö och vattenkraft. Havs- och vattenmyndigheten*. <https://www.havochvatten.se/arbete-i-vatten-och-energiproduktion/vattenkraftverk-och-dammar/nationella-planen-nap/program-vattenmiljo-och-vattenkraft.html> [2023-05-13]
- Kemp, P.S. (2016). Meta-analyses, Metrics and Motivation: Mixed Messages in the Fish Passage Debate. *River research and applications*, 32 (10), 2116–2124. <https://doi.org/10.1002/rra.3082>
- Knaepkens, Baekelandt & Eens (2005). Assessment of the movement behaviour of the bullhead (*Cottus gobio*), an endangered European freshwater fish. *Animal Biology*, 55 (3), 219–226. <https://doi.org/10.1163/1570756054472845>
- Kornis, M.S., Mercado-Silva, N. & Vander Zanden, M.J. (2012). Twenty years of invasion: a review of round goby *Neogobius melanostomus* biology, spread and ecological implications. *Journal of fish biology*, 80 (2), 235–285. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.03157.x>

- Kwok, R. (2019). AI empowers conservation biology. *Nature*, 567 (7746), 133–134. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-00746-1>
- Naturvårdsverket (2020). *Sveriges arter och naturtyper i EU:s artoch habitatdirektiv*. [2023-06-04]
- Naturvårdsverket (u.å.). *Definition*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/invasiva-frammande-arter/vad-ar-ifa/definition/> [2023-05-13]
- Nyheter, S.V.T. & Quayle, A. (2022). Nordligaste fyndet av svartmunnad smörbult – invasiva arten fångad utanför Husum. *SVT Nyheter*. <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasternorrland/svartmunnad-smorbult-hot-mot-inhemska-fiskarter> [2023-05-14]
- Persson, L. (2020). *Utformning och uppföljning av fiskpassagelösningar: underlagsrapport till Havs- och vattenmyndighetens webbvägledning*. Umeå: Institutionen för Vilt, Fisk och Miljö, Sveriges lantbruksuniversitet. (Rapport (Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vilt, fisk och miljö); 2020)
- Roje, S., Drozd, B., Richter, L., Kubec, J., Polívka, Z., Worischka, S. & Buřič, M. (2021). Comparison of Behavior and Space Use of the European Bullhead *Cottus gobio* and the Round Goby *Neogobius melanostomus* in a Simulated Natural Habitat. *Biology*, 10 (9), 821. <https://doi.org/10.3390/biology10090821>
- SLU Artdatabanken (2022). *Invasiva arter*. <https://www.artdatabanken.se/arter-och-natur/biologisk-mangfald/frammande-arter/invasiva-arter/> [2023-05-13]
- SLU Artdatabanken a (u.å.). *Svartmunnad smörbult - Naturvård från SLU Artdatabanken*. <https://artfakta.se/> [2023-05-31]
- SLU Artdatabanken b (u.å.). *Stensimpa - Naturvård från SLU Artdatabanken*. <https://artfakta.se/> [2023-05-31]
- Strand M. Aronsson M. & Svensson M. 2018. *Klassificering av främmande arters effekter på biologisk mångfald i Sverige – ArtDatabankens risklista. ArtDatabanken Rapporterar 21. ArtDatabanken SLU, Uppsala. Hämtad 2021-04-15*
- Sveriges Miljömål (u.å.). *Sveriges miljömål*. <https://www.sverigesmiljomal.se/> [2023-05-13]
- Wiegand, J., Hirsch, P.E., Seidel, F., Rauter, G. & Burkhardt-Holm, P. (2023). Impact of hydraulic forces on the passage of round goby (*Neogobius melanostomus*), gudgeon (*Gobio gobio*) and bullhead (*Cottus gobio*) in a vertical slot fish pass. *Ecology of freshwater fish*, 32 (2), 416–430. <https://doi.org/10.1111/eff.12696>
- Williams-Subiza, E.A. & Epele, L.B. (2021). Drivers of biodiversity loss in freshwater environments: A bibliometric analysis of the recent literature. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31 (9), 2469–2480. <https://doi.org/10.1002/aqc.3627>

# Tack

Projektet som tillhandahöll datat till detta arbete, Svartmunnad smörbult – förvandla risk till resurs (anslagsnr 2020-00051) finansierades av Naturvårdsverket och FORMAS för att förbättra förvaltningen av invasiva arter i samarbete med Havs- och vattenmyndigheten och Trafikverket.

Jag vill tacka min handledare Ann-Britt Florin och biträdande handledare Lo Persson för det genomgående stöd jag fått under arbetets gång.

Jag vill också tacka opponenter Martin Westerling som bidragit med konstruktiv kritik och goda råd.

## Bilaga 1

Tabell A1. Tabeller med försöksuppställning, manuellt registrerade upp- och nedströmpassager, samt registrerade passageförsök.

Stensimpa	Upp	Ned	Försök	Stensimpa	Upp	Ned	Försök
09-sep	14:52:56	15:09:42	ca 3st	13-sep	13:48:15	14:00:47	Ca 8st
Yttre - kamera 10	14:53:08	15:14:45		Inre - Kamera 2	13:51:33	15:01:29	
Hastighet - Låg	14:53:25	15:20:31		Hastighet - Låg	13:51:51	15:07:17	
Stark - 14.50	14:53:27	15:21:04		Start - 13.45	13:54:13	15:23:16	
Avslut - 16.50	14:55:31			Avslut - 15.45	13:54:42		
	15:00:27				13:55:55		
Upp Tot:	15:02:05			Upp Tot:	14:00:42		
14	15:06:37			13	14:00:49		
Ned Tot	15:06:39			Ned Tot	14:01:58		
4	15:08:07			4	14:35:26		
	15:11:00				15:00:16		
	15:18:48				15:03:43		
	15:23:57				15:33:38		
	15:31:15						
Stensimpa	Upp	Ned	Försök	Stensimpa	Upp	Ned	Försök
14-sep	14:54:55	15:03:26	Ca 9st	15-sep	14:28:18	14:47:50	Ca 7st
Inre - Kamera 2	15:00:39	15:38:19		Yttre - Kamera 10	14:37:30	14:51:19	
Hastighet - Medel	15:01:24	16:00:05		Hastighet - medel	14:47:51	14:53:33	
Start - 14.50	15:03:02	16:08:20		Start - 14.24	14:51:13		
Avslut - 16.50	15:04:33	16:18:41		Avslut - 16.24	14:53:23		
	15:11:11						
Upp Tot:	15:19:31			Upp Tot:			
9	15:37:06			5			
Ned Tot	16:18:34			Ned Tot			
5				3			
Stensimpa	Upp	Ned	Försök	Stensimpa	Upp	Ned	Försök
16-sep	14:23:31	14:44:18	Ca 49st	21-sep	12:32:59	12:34:05	24st
Inre - Kamera 2	14:43:00	15:07:07		Yttre - Kamera 10			
Hastighet - Hög	15:01:59	15:54:26		Hastighet - Hög			
Start - 14.15				Start - 12.05			
Avslut - 16.15				Avslut - 14.05			
Upp Tot:				Upp Tot:			
3				1			
Ned Tot				Ned Tot			
3				1			
Smörbult	Upp	Ned	Försök	Smörbult	Upp	Ned	Försök
22-sep	14:49:18	14:52:09	8st	22-sep	15:02:27	15:15:05	3st
Inre - Kamera 2	14:52:05	14:57:18		Yttre - Kamera 10	15:03:14	15:54:57	
Hastighet - Låg	14:54:58	15:02:34		Hastighet - Låg	15:04:56	16:21:21	
Start - 14.48	14:59:19	15:05:35		Start - 14.48	15:13:27	16:26:52	
Avslut - 16.48	15:01:00	15:07:14		Avslut - 16.48	15:16:40		
	15:01:40	15:10:00			15:51:58		
Upp Tot:	15:02:25	15:12:55		Upp Tot:	16:24:36		
16	15:03:41	15:14:08		8	16:31:06		
Ned Tot	15:05:57	15:20:17		Ned Tot			
11	15:08:16	15:31:37		4			
	15:13:30	15:36:12					
	15:13:43						
	15:17:14						
	15:20:27						
	15:27:16						
	16:03:02						
Smörbult	Upp	Ned	Försök	Smörbult	Upp	Ned	Försök
27-sep	14:42:57	14:43:01	Ca 113st	27-sep	14:15:54	14:27:25	Ca 95st
Inre - Kamera 2				Yttre - Kamera 10	14:28:01	14:28:16	
Hastighet - Medel				Hastighet - Medel	14:44:28	14:45:12	
Start - 13.30				Start - 13.30			
Avslut - 15.30				Avslut - 15.30			
Upp Tot:				Upp Tot:			
1				3			
Ned Tot				Ned Tot			
1				3			

## Bilaga 2



Tabell A2. Fullständiga tabeller över manuellt registrerade passager och AI-passager, samt om AI detekterade de manuellt registrerade passagera i den sammanfattade passagefilmen.

Stensimpa	Upp	Tog AI med passagen i film	AI Upp	Ned	Tog AI med passagen i film	AI Ned
09-sep	14:52:56	Ja	14:53:00	15:09:42	Ja	15:18:10
Yttre - kamera 10	14:53:08	Nej	15:00:37	15:14:45	Nej	
Hastighet - Låg	14:53:25	Ja	15:06:49	15:20:31	Nej	
Stark - 14.50	14:53:27	Ja	15:29:39	15:21:04	Ja	
Avslut - 16.50	14:55:31	Ja				
	15:00:27	Ja				
Upp Tot:	15:02:05	Ja				
14	15:06:37	Ja				
Ned Tot	15:06:39	Ja				
4	15:08:07	Nej				
AI Upp Tot.	15:11:00	Nej				
4	15:18:48	Ja - Bara slutet av passagen				
AI Ned Tot.	15:23:57	Nej				
1	15:31:15	Ja				
Stensimpa	Upp	Tog AI med passagen i film	AI Upp	Ned	Tog AI med passagen i film	AI Ned
13-sep	13:48:15	Ja	14:00:56	14:00:47	Nej	15:01:49
Inre - Kamera 2	13:51:33	Ja	14:20:40	15:01:29	Nej	15:22:16
Hastighet - Låg	13:51:51	Ja	14:35:34	15:07:17	Nej	
Start - 13.45	13:54:13	Ja		15:23:16	Ja	
Avslut - 15.45	13:54:42	Ja				
	13:55:55	Ja				
Upp Tot:	14:00:42	Ja				
13	14:00:49	Ja				
Ned Tot	14:01:58	Ja				
4	14:35:26	Ja				
AI Upp Tot.	15:00:16	Ja				
3	15:03:43	Ja				
AI Ned Tot.	15:33:38	Nej				
2						
Smörbult	Upp	Tog AI med passagen i film	AI Upp	Ned	Tog AI med passagen i film	AI Ned
22-sep	14:49:18	Nej	15:13:02	14:52:09	Nej	
Inre - Kamera 2	14:52:05	Nej		14:57:18	Nej	
Hastighet - Låg	14:54:58	Nej		15:02:34	Nej	
Start - 14.48	14:59:19	Nej		15:05:35	Nej	
Avslut - 16.48	15:01:00	Nej		15:07:14	Nej	
	15:01:40	Nej		15:10:00	Ja	
Upp Tot:	15:02:25	Nej		15:12:55	Ja	
16	15:03:41	Nej		15:14:08	Nej	
Ned Tot	15:05:57	Nej		15:20:17	Ja	
11	15:08:16	Nej		15:31:37	Ja	
AI Upp Tot.	15:13:30	Ja		15:36:12	Ja	
1	15:13:43	Nej				
AI Ned Tot.	15:17:14	Nej				
0	15:20:27	Ja				
	15:27:16	Ja				
	16:03:02	Ja				
Smörbult	Upp	Tog AI med passagen i film	AI Upp	Ned	Tog AI med passagen i film	AI Ned
22-sep	15:02:27	Ja	15:02:30	15:15:05	Ja	15:02:33
Yttre - Kamera 10	15:03:14	Ja	15:13:28	15:54:57	Nej	15:15:06
Hastighet - Låg	15:04:56	Ja	15:16:48	16:21:21	Nej	16:21:06
Start - 14.48	15:13:27	Ja	15:23:02	16:26:52	Nej	
Avslut - 16.48	15:16:40	Ja	15:52:00			
	15:51:58	Ja	15:53:37			
Upp Tot:	16:24:36	Ja	16:24:35			
8	16:31:06	Nej				
Ned Tot						
4						
AI Upp Tot.						
7						
AI Ned Tot.						
3						

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.