



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 24029

Examensarbete 30 hp

Juli 2024

Automatiserat fiskselekteringssystem med hjälp av AI-fiskräknare

Beräkningar och modellering i HEC-RAS samt illustration
i CAD

Daniel Fält





Abstract

Reduced fish stocks are a fact, and the reasons for this are many, mainly due to human perturbations but also due to natural causes. Regardless of the cause, this is a problem that needs to be solved to avoid disturbed ecosystems and to preserve the ecosystem services that we humans depend on from the aquatic stocks. Symptoms that can be alleviated in the short term are, for example, removing invasive species from watercourses, removing sick fish from fish stocks and to some extent manipulating the ecosystem by mastering the knowledge of ecosystem-based fish management. In order to be able to quickly and efficiently treat acute symptoms that arise within fish stocks, an automated fish selection system has been designed in this study. The fish selection system makes it possible to select fish of interest instead of catching fish at random. The fish selection system can be used to, for example, pick out invasive species, sick fish or fish of interest for research. The fish selection system consists of different construction parts that were individually examined and adapted based on the questions and boundary conditions that were set in this study. The construction parts were chosen based on an initial thought and modified according to guidelines, similar systems, calculations, modeling and assumptions. Some construction parts are fixed while others are adaptable based on the environment where the fish selection system is to be installed. Nybroån in Köpingebro was chosen as an example site to be able to demonstrate how the installation of the fish selection system could be done. It turned out that an installation of the fish selection system was feasible at Nybroån but also at other locations if the adaptable parts are adjusted.

Keywords: Fish selection system, fish construction, fish stocks, disturbed ecosystems, Civil 3D, CAD, HEC-RAS

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala/Visby

Handledare: Axel Emanuelsson Ämnesgranskare: Gesa Weyhenmeyer

Examinator: Antonio Segalini

Referat

Automatiserat fiskselekteringssystem med hjälp av AI-fiskräknare- Beräkningar och modellering i HEC-RAS samt illustration i CAD

Daniel Fält

Minskade fiskbestånd är ett faktum och orsakerna till detta är många, huvudsakligen av mänsklig påverkan men också på grund av naturliga orsaker. Oavsett orsak är detta ett problem som behöver lösas för att undvika rubbade ekosystem och för att bevara de ekosystemtjänster som vi människor är beroende av från de akvatiska bestånden. Symptom som kan lindras på kort sikt är exempelvis att få bort invasiva arter från vattendrag, få bort sjuka fiskar ur fiskbestånden och i viss mån manipulera ekosystemet genom att bemästra kunskapen inom ekosystembaserad fiskförvaltning. För att på ett snabbt och effektivt sätt kunna behandla akuta symptom som uppstår inom fiskbestånden har ett automatiserat fiskselekteringssystem utformats i denna studie. Fiskselekteringssystemet möjliggör att kunna fånga fiskar av intresse istället för att fånga fiskar slumpvist. Fiskselekteringssystem kan användas för att exempelvis selektera ut invasiva arter, sjuka fiskar eller fiskar av intresse till forskning. Fiskselekteringssystemet består av olika konstruktionsdelar som var för sig undersöktes och anpassades utifrån frågeställningarna och randvillkoren som var satta i denna studie. Konstruktionsdelarna valdes utifrån en initial tanke och modifierades utifrån riktlinjer, liknande system, beräkningar, modelleringar och antaganden. Vissa konstruktionsdelar är fasta medan andra är anpassningsbara utifrån miljön där fiskselekteringssystemet väljs att installeras. Nybroån i Köpingsbro valdes som exempelplats för att kunna demonstrera hur installationen av fiskselekteringssystemet skulle kunna gå till. Det visade sig att en installation av detta fiskselekteringssystem var genomförbar vid Nybroån men även vid andra platser om de anpassningsbara delarna justeras.

Nyckelord: Fiskselekteringssystem, fiskkonstruktion, fiskbestånd, rubbade ekosystem, Civil 3D, CAD, HEC-RAS

*Institutionen för ekologi och genetik, Uppsala universitet
Norbyvägen 18 D, SE-752 36 Uppsala, Sverige
ISSN 1401-5765*

Förord

Detta examensarbete avslutar mina 5 års studier inom Civilingenjörsprogrammet i miljö och vattenteknik som lästs på både Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Examensarbetet var en egen idé som uppstod efter upptäckten att det fanns fiskräknare med AI-teknik. Det känns bra att ha genomfört ett examensarbete från en egen idé till en färdig produkt, vilket jag anser är en bra övning inför arbetslivet som civilingenjör.

Alla illustrationer som finns i rapporten är publicerade med tillstånd eller genom allmän egendom, öppen licens. För tillstånden att publicera illustrationerna vill jag rikta ett stort tack till Fiskevårdsteknik AB, Havs- och Vattenmyndigheten, Smögens nät & TiVA.

Projektet utfördes på Norconsult Sverige AB där jag fick en kontorsplats, dator och hjälp av deras erfarna konsulter. Jag vill tacka min handledare Axel Emanuelsson som är gruppchef inom vattenmiljö på Norconsult Sverige AB som genom expertis har väglett mig och gett tips genom hela examensarbetets gång. Jag vill även tacka Stina Perman och Tony Moberg Wallin för er expertis inom HEC-RAS respektive CAD (Civil 3D). Jag vill också tacka min ämnesgranskare, Gesa Weyhenmeyer, vid Institutionen för ekologi och genetik på Uppsala universitet för den goda dialogen och stödet under hela examensarbetets gång.

Några personer som också måste tackas är min familj som alltid har funnit under examensarbetet och hela studietiden. Med hjälpende händer har de stöttat mig under olika perioder och även hjälpt till med barnvaktspassning när det behövts. En ytterligare person som har hjälpt till med barnvaktspassning under viktiga stunder är Malin Andersson vilket jag är tacksam för. Jag vill även explicit tacka min sambo Alma Berg för allt nedlagt arbete som ligger bakom kulisserna under alla dessa 5 år. Jag tackar även alla personer från Norconsults kontor i Uppsala samt vänner som har stöttat mig under mitt examensarbete och min studietid.

Till sist men inte minst vill jag tacka mina tre underbara barn, Adam, Lova och Ebbe som har gjort den här resan möjlig men också nästan omöjlig. Tack till alla er!

Uppsala, Juli 2024

Daniel Fält

*Copyright © Daniel Fält och Institutionen för ekologi och genetik, Uppsala universitet
UPTEC W 24029, ISSN 1401-5765*

*Digitalt publicerad i DiVA, 2024, genom Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet
(<http://www.diva-portal.org>)*

Populärvetenskaplig sammanfattning

Idag finns det färre fiskar i vattendrag, sjöar och hav jämfört med bara några år sedan och detta beror huvudsakligen på grund av människans sätt att leva men också på grund av naturliga orsaker. Några exempel på mänskliga orsaker är att människan fiskar mer än vad fiskbestånden klarar av och släpper ut föroreningar i sjöar och hav som fiskar inte mår bra av. Idag finns det restriktioner för hur mycket fisk som får fiskas så att inte fiskbestånden minskar men detta följs inte alla gånger och även tjuvfiske är tyvärr något som inte är helt ovanligt. Oavsett orsak till detta problem måste det lösas med alla möjliga medel och detta för att undvika att fler fiskbestånd minskar eller dör ut i sjöar och hav. En annan anledning till varför det är viktigt att lösa detta problem är att människan är beroende av fisk som födokälla men också ur ett ekonomiskt perspektiv. Det som görs idag för att försöka lösa detta svåra problem med minskade fiskbestånd är att organisationer, myndigheter och företag samarbetar och använder de verktyg och kunskaper som finns att tillhandahålla från respektive aktör för att försöka få fiskarna att må bättre och bli fler i sjöar och hav.

Att lösa problemet är det långsiktiga arbetet men det finns även något som kan göras på kort sikt, att lindra symptomen. Att lindra symptomen kan göras samtidigt som orsakerna till problemen försöker lösas. En åtgärd som kan göras på kort sikt, alltså lindra symptomen, är att ta bort fiskar som människor har flyttat till vatten där de inte hör hemma. Fiskar som har förflyttats av människan och som har börjat leva i ett vatten som inte är dess hemmiljö kan förstöra för fiskar som lever i det vattnet. Det som kan ske är att den nyintroducerade fisken äter upp föda som den inhemska fisken livnär sig på och på så sätt kan den naturligt förekommande fisken minska eller till och med dö ut. Förutom att ta bort fiskar som är i fel vattenmiljö kan även sjuka fiskar tas bort som sprider sjukdomar inom fiskbestånden. Det finns sjukdomar som sprider sig mellan fiskar vid närkontakt men även mellan moderfisken till avkomman och det som hindrar denna spridning är att plocka bort de sjuka fiskarna. Om detta inte görs kan det ske en stor spridning av sjukdomar vilket kan minska eller döda ut fiskbestånd. Ytterligare åtgärder som kan göras är att exempelvis återinföra en fiskart som tidigare varit naturligt förekommande men som människan har utrotat eller att försöka fiska ut en fiskart som det finns gott om för att ge utrymme till en annan fiskart som har det svårt att överleva.

Forskning är något som är effektivt för att motverka och upptäcka problem inom olika fiskbestånd. Vanliga metoder för att fånga fiskar som vill studeras är att exempelvis släppa ner ett nät eller fiska på ett traditionellt vis. Problemet med att använda dessa fångstmetoder är att det inte är säkert att den fisk som ska undersökas är den som fångas.

För att säkerställa att det är fisken av intresse som fångas istället för att hoppas att den fisken fångas utformades ett automatiserat fiskselekteringssystem i denna studie. Detta fiskselekteringssystem kan exempelvis användas för att selektera ut invasiva arter, sjuka fiskar eller fiskar av intresse till forskning. Vissa delar av konstruktionen är anpassningsbara beroende på var fiskselekteringssystemet väljs att placeras medan andra delar är fasta. Nybroån i Köpingsbro valdes som en exempelplats för att få en känsla över hur detta system skulle fungera i verkligheten. Ingenting byggdes på plats utan det gjordes en teoretisk installation genom beräkningar och modelleringsprogram på datorn. Det framgick från resultatet att det är genomförbart att installera ett fiskselekteringssystem vid Nybroån men även på andra platser om de anpassningsbara delarna justeras utifrån den miljön.

Ordlista

Gulesäck	En gul säckformad näringskälla som fiskyngel livnär sig av innan de är tillräckligt utvecklade för att klara sig själva.
Iteroparitet	Förmågan att kunna reproducera sig flera gånger under livet.
Kelt	Fiskar inom familjen Salmonidae som återvandrar till lekplatsen efter smoltstadiet. Kan också användas för att beskriva en fisk efter lek.
Lekvandring	Perioden då fiskar vandrar för att leka och reproducera sig.
Smolt	En ung fisk inom familjen Salmonidae som har anpassat sig för att övergå från sötvatten till saltvatten, eller vice versa för att migrera till en ny vattenmiljö där den kan växa på sig.
Stirr	När en fisk från familjen Salmonidae har absorberat gulesäcken och kan livnära sig på egen hand.

Innehåll

Abstract	i
Referat	ii
Förord	iii
Populärvetenskaplig sammanfattning	iv
Ordlista	vi

1 Inledning	1
1.1 Syfte	2
1.2 Mål	2
1.3 Frågeställningar	2
1.4 Avgränsningar	3
2 Bakgrund	3
2.1 Hydrologiska förhållanden	3
2.1.1 Vattenstånd	3
2.1.2 Vattenföring	4
2.2 Fiskar i svenska vatten och vattendrag	4
2.2.1 Stationära fiskar, vandringsfiskar och diadroma fiskar	5
2.2.2 Ett exempel på en anadrom livscykel	5
2.2.3 De största naturligt förekommande sötvattensfiskar och diadroma fiskar i Sverige	6
2.2.4 Anlockning	8
2.2.5 Invasiva fiskarter	8
2.2.6 Sjukdomar	9
2.2.7 Stress	9
2.3 TiVA:s AI-fiskräknare	10
2.4 Konstruktionsdelar	11
2.4.1 Dimension för en kulvert / “gång”	11
2.4.2 Selektionsmekanism	12
2.4.3 Maximal svängvinkel	13
2.4.4 Sensorer	13
2.4.5 Enkelriktat system	13
2.4.6 Fiskanpassade galler	14
2.4.7 Storlek på fångenskap	16
2.5 HEC-RAS	17
3 Metod	18
3.1 Fiskselekteringssystemets uppbyggnad	19

3.1.1 Randvillkor.....	19
3.1.2 Teoretisk installation av fiskselekteringssystemet.....	20
3.1.3 Vattenföring och vattenstånd.....	20
3.1.4 Största fisken i systemet.....	20
3.1.5 Gångens dimension.....	23
3.1.6 Formen på gången.....	24
3.1.7 Selekteringsmekanism.....	24
3.1.8 Maximal svängvinkel.....	24
3.1.9 Sensorer.....	25
3.1.10 Enkelriktat system.....	25
3.1.11 Fiskanpassat galler.....	26
3.1.12 Gallerhöjd utifrån de bästa hopparna.....	28
3.1.13 Storlek på fångenskap.....	29
3.2 HEC-RAS.....	31
3.2.1 Batymetrin för Nybroån.....	31
3.2.2 Arbete i HEC-RAS.....	34
3.3 Civil 3D (CAD).....	35
3.3.1 Arbete i Civil 3D (CAD).....	35
3.4 Lagar.....	36
4 Resultat.....	36
4.1 Modellering i HEC-RAS.....	36
4.1.1 Batymetrisk data.....	36
4.1.2 Höjdpositionering av fiskselekteringssystemet.....	38
4.1.3 Gallerhöjden.....	38
4.1.4 Fallförlusten vid gallret.....	38
4.2 Största fisken i systemet.....	39
4.3 Dimensionering av gången och AI-fiskräknaren.....	41
4.4 Formen på gången.....	42
4.5 Selekteringsmekanism.....	43
4.6 Enkelriktat system.....	44
4.7 Storlek på fiskreservoar.....	44
4.7.1 Vattenvolym per fisk.....	44
4.7.2 Antalet fiskar i reservoaren.....	46
4.8 Approximativ kostnad för fiskselekteringssystemet.....	47
4.8.1 TiVA:s AI-fiskräknare.....	47
4.8.2 Gången.....	47
4.8.3 Klaffdörren.....	47
4.8.4 Sensorn.....	47
4.8.5 Ryssjan.....	47
4.8.6 Fiskgallret.....	47
4.8.7 Totalkostnad.....	47

4.9 Översiktsbild och 3D-modell samt beskrivning av fiskselekteringsssystemet i Nybroån.....	48
5 Diskussion.....	50
5.1 Konstruktionens itereringsprocess.....	50
5.2 Batymetrisk data.....	50
5.3 Konstruktionsdelar.....	51
5.3.1 Gångens dimensionering.....	51
5.3.2 Formen på gången.....	51
5.3.3 Ryssjan.....	51
5.3.4 Fiskreservoaren.....	52
5.3.5 Fiskgallret.....	53
5.4 Lagar.....	53
5.5 Prisanalys.....	54
5.6 Civil 3D (CAD).....	54
5.7 Problematiska områden för fiskselekteringssystemet.....	55
5.8 Framtida studier.....	56
5.8.1 Påbyggnation.....	56
5.8.2 Programmering.....	57
5.8.3 Fiskreservoaren.....	57
5.8.4 Underhåll av fiskselekteringssystemet.....	57
5.8.5 Platsbesök.....	58
5.8.6 Annat användningsområde för fiskselekteringssystemet.....	59
5.9 Felkällor.....	59
5.9.1 Fiskens proportioner.....	59
5.9.2 Fiskselekteringsprocessen.....	60
5.9.3 HEC-RAS.....	60
6 Slutsatser.....	61
Referenser.....	63
Bilaga.....	I
A Vattenstånd och flödes hastighet.....	I
A.1 Olika vattenstånd.....	I
A.2 Olika flödes hastigheter.....	III
B Illustrationer i Civil 3D (CAD).....	V
B.1 3D-figurer av fiskselekteringssystemet.....	V
C Beräkningar.....	VII
C.1 Batymetriska beräkningar.....	VII
C.2 Laxens omkrets.....	VII
C.3 Laxens höjd.....	VIII
C.4 Formen på gången.....	X
C.5 Storlek på fiskreservoaren.....	XII
C.6 Prisberäkning av gången.....	XIII

C.7 Prisberäkning av det hydrauliska fingallret.....	XIV
D Mannings tal.....	XV
D.1 Värden på Mannings tal.....	XV
E Excel.....	XVI
E.1 Månatliga flödesdata.....	XVI
E.2 Dagliga flödesdata för oktober månad 2013.....	XXIV

1 Inledning

Överfiskning, invasiva arter, föroreningar, svamp- och parasitangrepp är bara några exempel på problemområden för fiskbestånden (WWF 2024a). Alla dessa nämnda problem kan bidra till en minskad biologisk mångfald och i dagsläget är hotet mot ekosystemens stabilitet mycket allvarlig (WWF 2024a).

I dagsläget är det många arter i akvatiska ekosystem som håller på att försvinna och en orsak är människans sätt att leva (Naturvårdsverket 2023 ; Trégarot et al. 2024), mer specifikt är det människans aktivitet och beslutstagande som är en stor orsak till att arter håller på att försvinna i akvatiska ekosystem (Naturskyddsföreningen 2021a). Felaktiga beslut som tas inom fiskesektorn kan leda till överfiske och utfiskning som i sin tur leder till rubbade ekosystem (Naturvårdsverket 2023). Ett exempel på när mänskliga beslut påverkat ett helt fiskbestånd är exemplet med sillen i Östersjön. Forskare hade räknat fel och glömde att ta med rovfiskarna i beräkningen när fiskekvoten för sill togs fram vilket ledde till en nära utrotning av sillen i Östersjön (Bengtsson 2022 ; Sandin 2022). Det finns även ett mörkertal från olagligt fiske som är en ytterligare anledning till minskade och kollapsande fiskbestånd (MSC 2024).

Förutom människans direkta negativa påverkan på de akvatiska ekosystemen finns det även en indirekt mänsklig påverkan i form av antropogena utsläpp som leder till klimatförändringar (SMHI 2020). På grund av nuvarande klimatförändringar till följd av antropogena utsläpp finns det risk att fler invasiva arter etablerar sig i svenska vatten (Havs- och Vattenmyndigheten 2023a). Utöver mänsklig interaktion och påverkan på ekosystem finns det också naturliga orsaker som negativt påverkar fiskbestånden i form av sjukdomar, parasitangrepp och ytterligare hälsoproblem (SVA u.å.).

På grund av orsakens komplexitet för de drabbade fiskbestånden finns det inte *ett* konkret svar hur detta problem löses utan det behövs flera aktörer som samverkar i en itererande process för att ta sig an dessa problem (WWF 2024d). Idag finns det många organisationer, myndigheter och företag som jobbar tillsammans för att rädda fiskbestånden men trots samarbetet är det en process som tar lång tid och trots alla åtgärdsprogram kan det ändå vara svårt att lösa ett specifikt problem på grund av komplexiteten samt att uppskattningsvis 30 % av fiskefångsterna är olagliga och svårspårbara (ibid.).

Att lösa problemet är det långsiktiga målet och den processen är redan igång i form av olika projekt (WWF 2024d) men att lösa påföljden av problemet, symptomen är något som parallellt kan arbetas med för att minska påverkan på kort sikt vilket kan ge omedelbar effekt (Tableau u.å.). De symptomen som går att lindra under kort sikt är att få bort invasiva arter från vattendrag (Havs- och Vattenmyndigheten & Naturvårdsverket u.å.), få bort sjuka fiskar ur fiskbestånden (Sportfiskarna 2016) och i viss mån manipulera ekosystemet genom att bemästra kunskapen inom ekosystembaserad fiskförvaltning (Naturvårdsverket 2020).

Forskning bidrar till att hitta effektiva metoder för att upptäcka och förebygga problem bland fiskbestånd (AFS 2014). Vanliga fångstmetoder som används inom forskning är metfiske, nätfiske, fiskfällor och i vissa fall elektriskt fiske. Fångstmetoder utvecklas hela tiden för att försöka minimera den negativa upplevelsen för fiskarna samt för att minimera bifångsten men ändå få så stor utdelning som möjligt. Modernare och effektivare fångstmetoder bidrar till ökat utbud av fisk för forskningen vilket förbättrar förutsättningar för analyser och upptäckande av problemområden i fiskbestånden. Med ny teknik och teknologi ökar förutsättningarna att utforma självfångande fångstredskap som kan hjälpa till att selektera ut fiskar av intresse på ett effektivare sätt än dagens metoder (ibid.).

Dagens självfångande fångstredskap i vatten består av nät, olika typer av tinor och andra fällor som placeras i vattnet och fångar det som råkar fastna i redskapet (Europeiska kommissionen u.å.). Det som gjordes i denna studie var att utforma ett effektivt fångstredskap som endast fångar fiskar av intresse istället för att fiska manuellt eller hoppas på att fiskar av intresse fastnar i en fiskfälla som har satts ut.

Några exempelområden när detta självfångande fångstredskap kan vara användbart är vid fångst av fiskar med sjukdomar, svamp- och parasitangrepp, hantering av invasiva arter, skiljande av odlad fisk från vild fisk samt underlätta för forskning på ett snabbt och effektivt sätt.

1.1 Syfte

Syftet med studien var att ta fram ett fiskselekteringssystem som automatiskt selekterar ut fiskar av intresse i valfritt vattendrag.

1.2 Mål

Målet med denna studie var att utveckla och beskriva ett effektivt automatiserat fiskselekteringssystem baserat på beräkningar och modellering utifrån teoretiska riktlinjer och erhållna förutsättningar. I beskrivningen ingår det hur fiskselekteringssystemet byggdes med avseende på fiskens manövreringsbehov, dimensioner av olika delar samt vilken vistelsetid fiskarna bör ha i systemet. I beskrivningen ges även detaljerad information såsom underhållsbehov, material, priser och vad som krävs av verksamhetsutövare/entreprenörer som vill installera ett sådant här system.

1.3 Frågeställningar

Relevanta frågeställningar för att kunna utföra studien och uppfylla målen kan sammanfattas med tre övergripande frågeställningar.

1) Hur kan vilda fiskar av intresse selekteras ut på ett snabbt och effektivt sätt?

2) Hur ska ett automatiserat selekteringssystem av vilda fiskar utformas så att fiskars välmående tas i beaktande?

3) Hur ska konstruktionen vara uppbyggd för att minimera underhållsbehovet samt kostnaden för ett automatiserat selekteringssystem av vilda fiskar?

1.4 Avgränsningar

En avgränsning som gjordes är att konstruktionen inte tar hänsyn till djur såsom kräfter eller andra bottenvandrande djur. En ytterligare avgränsning som gjordes var att selekteringssystem endast fokuserar på uppströmsvandrande och inte för nedströmsvandrande fiskar. En sista övergripande avgränsning som gjordes var att det inte gjordes någon typ av programmering i systemet.

2 Bakgrund

För att ha en teoretisk grund inför uppbyggandet av fiskselekteringssystemet introduceras och förklaras termer i detta stycke som är avgörande för konstruktionen.

2.1 Hydrologiska förhållanden

2.1.1 Vattenstånd

Vattenstånd är en term som används för att beskriva den aktuella vattennivån vid en specifik tidpunkt (SMHI 2022). Det finns många olika faktorer som påverkar vattenståndet i sjöar, vattendrag och hav på både kort och lång sikt (SMHI 2024). På kort sikt är det övervägande lufttryck och vind som förändrar vattenståndet längs kusterna och på lång sikt är det i synnerhet den pågående landhöjningen och det ökade vattenståndet i världshaven som påverkar vattenståndet. I världshaven sker det ökade vattenståndet dels till följd av smältande landisar och glaciärer på grund av den nuvarande klimatförändringen som bidrar till ett varmare klimat globalt (ibid.). Sjöars vattenstånd påverkas främst av lokala förändringar såsom nederbörd, snösmältning och mänsklig reglering (Klimatanpassning 2023). Vattenstånd är ett viktigt hydrologiskt förhållande att bevaka då vattenhöjningar kan ha förödande konsekvenser för bebyggelser, vägar, samhällsviktig verksamhet och naturmiljöer (ibid.).

Enligt SMHI (2022) beskrivs vattenstånd som den höjdnivå som en studerad vattenyta är i relation till en vald referenspunkt. Vattenståndet anges antingen i RW (Relative Water Level) eller i RH 2000 (Rikets höjdsystem 2000) som är två olika metoder för att beräkna vattenståndet och valet av referenspunkten är det som varierar för de olika beräkningsmetoderna. Vid jämförande av vattenstånd under snabba väderliga förändringar är RW en bra beräkningsmetod eftersom att den är beräknad utifrån ett normalt medelvattenstånd. RH 2000 är en bra beräkningsmetod för att undersöka om det är landmassan eller havsnivån som stiger mest på en plats eftersom att referenspunkten är en fixerad landpunkt och för många europeiska länder liksom Sverige ligger den fixpunkten i

Amsterdam och kallas Normaal Amsterdams Peil (NAP). RH 2000 är en metod som även används för att enbart studera vattenståndet. Sedan år 2005 är RH 2000 Sveriges nationella höjdsystem vilket är det system som Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) använder (ibid.).

2.1.2 Vattenföring

Vattenföring är mängden vatten som flödar på en angiven plats under en bestämd tid (SMHI 2023b). Oftast brukar termen vattenföring användas i olika typer av vattendrag och enheten presenteras ofta som kubikmeter per sekund. Vattenföringen varierar både säsongsmässigt och dagligen. Faktorer som påverkar variation i vattenföring är snösmältning, regn, avdunstning och även på grund av mänsklig påverkan i form av dämning vid exempelvis ett vattenkraftverk. SMHI har cirka 100 vattenföringsstationer utspridda över hela Sverige vilket utgör ett "hydrologiskt grundnät" enligt SMHI:s egna benämning. Vattenföringen vid dessa stationer beräknas från sambandet mellan vattenståndet och vattenföringen med hjälp av en avbördningskurva. För att få en avbördningskurva ur ett praktiskt perspektiv behöver vattenföringsmätningar utföras vid olika vattenstånd. För att underlätta arbetet med att få fram vattenföringen används modeller som räknar ut vattenföringen istället för att behöva utföra manuella mätningar. SMHI använder ett program som heter S-HYPE för att modellera vattenföringen i vattendrag runt om i landet (ibid.).

Sveriges HYPE-modell, S-HYPE tillhandahåller offentlig information om ett vattendrags avrinningsområde, mer specifikt förser S-HYPE med områdesinformation som beskriver jordarter, markanvändning, avrinningsområdet area, vattenbalansen, samt årliga, månatliga och dagliga data för vattenföringen i avrinningsområdet (SMHI 2023a).

Den universella beteckningen för vattenföring är symbolen "Q" och eftersom vattenföringen varierar under tid finns det extra beteckningar för att förtydliga och specificera särskilda omständigheter under olika tidsperioder (SMHI 2015). Några termer och beteckningar som används för att specificera särskilda vattenstånd är medellågvattenföring (MLQ), medelvattenföring (MQ), medelhögvattenföring (MHQ) och högvattenföring (HQ). Termerna presenterar ett medelvärde av vattenföringen för årets lägsta-, medel- respektive medelhöga vattenföring medan HQ står för den högsta förekomna vattenföringen under ett hydrologiskt år. För högvattenföring kan det även anges ett årtal som specificerar vilken den högsta vattenföringen har varit under dessa år (ibid.).

2.2 Fiskar i svenska vatten och vattendrag

På grund av Sveriges geografi omges landet av saltvatten och bräckt vatten (VISS u.å. ; WWF 2024c). Saltvatten från Atlanten tar sig in i Östersjön som sedan späds ut av sötvattensälvarna vilket resulterar i brackvatten (WWF 2024c). Eftersom Sveriges omgivande vatten innehåller olika salthalter finns det en diversitet av arter som befinner sig i Östersjön och som potentiellt vandrar upp i de svenska vattendragen (ibid.).

2.2.1 Stationära fiskar, vandringsfiskar och diadroma fiskar

Stationära fiskar är en term som används för fiskar som inte migrerar mellan olika vattenmiljöer under perioder av sitt liv (Havs- och vattenmyndigheten 2013b). Motsatsen till stationära fiskar är vandringsfiskar som istället migrerar under olika faser av dess livscykel (ibid.). Vandringsfiskar behöver nödvändigtvis inte migrera mellan sötvatten och saltvatten eller vice versa utan kan migrera inom samma typ av vattenmiljö och en fisk som gör just detta är laken som ofta migrerar till sin födelseplats för lek (Havs- och vattenmyndigheten 2020). De fiskar som migrerar mellan olika vattenmiljöer kallas för diadroma fiskar vilket i sin tur har underkategorier som specificerar åt vilket håll migrationen sker (Havs- och vattenmyndigheten 2013b).

En anadrom vandringsfisk innebär att fisken föds vid en lekplats i sötvatten och sedan migrerar ut i havet för att växa på sig, bli könsmogen och efter den processen vandrar fisken tillbaka till lekplatsen där de föddes på för att reproducera sig och på så sätt blir livscykeln fullbordad (Havs- och vattenmyndigheten 2013b). De katadroma vandringsfiskarnas livscykel är på motsvarande sätt men i omvänd ordning då de vandrar från saltvatten till sötvatten och sedan tillbaka till saltvatten för att reproducera sig. Ett exempel på en anadrom fisk är laxen medan ålen är ett exempel på en katadrom fisk (ibid.).

2.2.2 Ett exempel på en anadrom livscykel

För exempelvis laxen som är en anadrom fisk börjar livscykeln då ägget kläcks vid lekplatsen och då lever ynglet av gulesäcken i den grusiga miljön i cirka 1-2 månader (Havs- och vattenmyndigheten 2014b). Efter förbrukning av gulesäcken lever stirren på egen hand i det fria och livnär sig då på kräftdjur och insekter. Efter stirrstadiet utvecklas laxungen till smolt och detta sker mellan 1-5 års ålder och då vandrar den ut till havet. Väl ute i havet växer smolten på sig genom att föda på fisk för att så småningom bli könsmogen. Könsmognadsprocessen tar cirka 1-4 år och efter havsvistelsen vandrar kelten upp till lekplatsen för att fullborda livscykeln och under lekvandringen äter kelten ingenting (ibid.).

Lekvandningsperioden skiljer sig mellan olika arter (Havs- och vattenmyndigheten 2023b) och för laxen sker detta under våren, sommaren eller tidigt på hösten (Sportfiskarna 2015a). Ett stort antal laxar dör efter reproduktionen på lekplatsen eftersom den omfattande vandringen och leken har förändrat deras kropp så pass mycket att de inte överlever men en viss andel överlever och kelten kan då bli flegångslekare (Lundqvist et al. 2015). Kelten är väldigt känslig efter den ansträngande vandringen och leken vilket innebär att den inte har samma fysiska kapacitet som den hade innan. På grund av den fysiska förändringen hos kelten är den extra känslig för snabb förändring av flödes hastigheten vilket innebär att den undviker områden där detta uppstår (ibid.).

2.2.3 De största naturligt förekommande sötvattensfiskar och diadroma fiskar i Sverige

Den europeiska stören (*Acipenser sturio*) och Atlantstören (*Acipenser oxyrinchus*) är anadroma fiskar som båda har befunnit sig i svenska vatten. Båda störlarterna är väldigt lika i utseende vilket kan ses i *Figur 1* och det har rapporterats att den atlantiska stören kan bli 4,3 meter och väga 368 kg (Havs- och vattenmyndigheten 2016). Störens föda består av kräftdjur, blötdjur, fiskar, maskar och olika växtdelar (SAKL FYFF 2022). Den europeiska stören har varit påträffad vid två olika tillfällen på Sveriges västkust varav ena gången blev den fångad 1991 (Havs- och vattenmyndigheten 2016) och den andra gången, 2017 flöt den upp på land död (havet 2017). Atlantstören fanns i slutet av 1800-talet i flera större floder i Östersjöområdet och även på västkusten i Göta älv (Havs- och vattenmyndigheten 2016). Den europeiska stören är idag funktionellt utdöd (ibid.) medan Atlantstören är nationellt utdöd (Artdatabanken, SLU u.å.a.). Varför störlarterna blev funktionellt respektive nationellt utdöda anses bero på överfiske, uppdämning av floder och älvar samt vattenföroreningar som orsakar dåliga vattenförhållanden (SAKL FYFF 2022 ; Artdatabanken, SLU u.å.b.).

Sedan mitten på 1990-talet görs det försök att återinföra den atlantiska stören till svenska vatten och sedan projektstart har cirka sex miljoner atlantstörar släppts ut i Östersjön varav majoriteten är yngel (Havs- och vattenmyndigheten 2016). Estland och Finland samarbetar i ett gemensamt EU-projekt angående återföringen av stör genom fiskodlingsanläggningar i Estland som möjliggör att stören kan växa på sig innan den släpps ut i det Östersjön (SAKL FYFF 2022). Syftet med projektet är att öka den biologiska mångfalden och återinföra en naturlig art i Östersjön (ibid.).



Figur 1. En bild av den atlantiska stören (Acipenser oxyrinchus) till vänster (Artdatabanken, SLU u.å.b.) och den europeiska stören (Acipenser sturio) till höger (Havs- och vattenmyndigheten 2016).

Malen (*Silurus glanis*) är en stor stationär sötvattensfisk som kan bli flera meter lång och i Båven, Sverige, 1870 fångades en mal på 3,6 meter som vägde 180 kg (Havs- och vattenmyndigheten 2014c). Trots sin storlek är malen en skicklig simmare på grund av dess kroppsform (Ovidio et al. 2023). En bild på malens anatomi kan ses i *Figur 2*. Malen jagar fiskar, fåglar, grodor och kräfter. Under våren och sommaren jagar malen föda och kan förflytta sig flera kilometer under jakten. Efter jakten, under hösten när vattnet blir kallare stationerar sig malen och går i en slags dvala på någon lugn plats (ibid.).

I Sverige är malen en hotad art och den naturliga utbredningen har minskat men trots det förekommer malen i tre olika naturliga bestånd i Sverige vid Nyköpingsån, Emån och Helgeån. Det finns även dokumentationer av enstaka fall då malen har vistats på andra ställen än dessa vattendrag (Havs- och vattenmyndigheten 2014c).



Figur 2. En bild av malen (*Silurus glanis*) (Artdatabanken, SLU u.å.e.).

Laxen äter i stirrstadiet kräftdjur och insekter men sedan när den utvecklas till smolt består den huvudsakliga födan av fisk (Sportfiskarna 2015a). Laxen förekommer runt hela Sveriges kust och även i vissa vattendrag (Havs- och vattenmyndigheten 2014b). Laxbestånden som finns i Sverige är Östersjölaxen som migrerar till älvarna som mynnar ut i Östersjön och Atlantlaxen som migrerar till älvarna på Sveriges västkust (Artdatabanken, SLU u.å.d.) men båda är av samma art, *salmo salar*. En bild på laxarten *salmo salar* kan ses i *Figur 3*.

Östersjölaxen tenderar att bli större än Atlantlaxen med en maximal ålder på cirka 15 år, en längd på cirka 1,5 m och med en vikt på över 40 kg (Sportfiskarna 2015a) vilket potentiellt kan uppgå till 50 kg (Artdatabanken, SLU u.å.d.). Dessa mått gäller hanarna då de blir större än honorna (Sportfiskarna 2015a). Det svenska storleksrekordet för lax ligger på 28,7 kg med en längd på 1,35 m som fångades år 1992 (Sportfiskarna 2015b).

Östersjölaxen verkar ha benägenhet till att ha en betydligt högre överlevnad efter leken gentemot Atlantlaxen då chansen till iteroparitet är över 50 % för Östersjölaxen (Östersjölaxälvar i samverkan 2023) medan medelvärdet för överlevnad för ett studerat bestånd på mer än 200 000 Atlantlaxar (smolt) längst Norges västkust var 3,8 % (Persson et al. 2023).



Figur 3. En bild av laxen (*Salmo salar*) (Artdatabanken, SLU u.å.d.).

Gädda (*Esox lucius*) är en stationär sötvattensfisk och en ålder på 30 år med en vikt på över 20 kg har påträffats för honor men är väldigt sällsynta (Havs- och vattenmyndigheten 2014a). Redan efter ett år är gäddan en rovfisk och äter då stora bottendjur och alla slags fiskar inklusive sin egen art och kan även föda på fågelungar och grodor. Gäddan kan påträffas över hela landet, i sjöar, vattendrag och även i Östersjön och Bottniska viken (ibid.). En bild på gäddans utseende kan ses i *Figur 4*.



Figur 4. En bild av gäddan (*Esox lucius*) (Artdatabanken, SLU u.å.c.).

2.2.4 Anlockning

Många olika faktorer vägleder fiskar till sin lekplats och olika fiskarter använder olika strategier för att lösa detta (Calles 2005). Strategier som migrerande fiskar använder sig av är medfödda instinkter men också yttre faktorer de blir styrda av (Havs- och vattenmyndigheten 2013b). Yttre faktorer såsom vattenföring används av vissa fiskar vilket till och med kan vara avgörande för att hitta rätt vandringsväg som leder till lekplatsen där de föddes (Persson & Leonardsson 2020).

Olika fiskarter behöver olika flödes hastigheter för att få en bra anlockning. Den maximala flödes hastigheten för att alla fiskar ska kunna simma uppströms är 0,1-0,2 m/s men detta gäller fiskyngel vilket i regel inte brukar vandra uppströms så dessa brukar bortses ifrån och istället räkna med att fiskar först börjar vandra när de nått en längd på 30-70 mm (Havs- och vattenmyndigheten 2013a). En riktlinje för att vandringskapabla fiskar ska kunna vandra är att flödes hastigheten inte bör överstiga 0,3 m/s (ibid.). Till skillnad från mindre fiskar missgynnas exempelvis laxen inte av höga flödes hastigheter, utan det ger snarare en god attraktion för laxen att hitta rätt vandringsväg (Persson & Leonardsson 2020).

2.2.5 Invasiva fiskarter

Ett av de största hoten mot den biologiska mångfalden är när invasiva arter introduceras i en ny miljö (Havs- och vattenmyndigheten 2015). Invasiva fiskarter är fiskar som med hjälp av människan flyttats från sin naturliga miljö till en ny miljö och snabbt etablerat sig (Naturvårdsverket u.å.). Om en invasiv fiskart överlever i en ny vattenmiljö tenderar den att föröka sig och växa i snabb takt vilket medför ett problem till de inhemska arterna (Havs- och Vattenmyndigheten & Naturvårdsverket u.å.). Problemet med utbredningen av en invasiv fiskart är att det finns en risk att den biologiska mångfalden minskar och att ekosystemen rubbas. Om det väl går så långt att ekosystemen rubbas kan funktionerna i ekosystemen vara starkt påverkade som inte bara är negativt för djurlivet utan även för oss människor som är beroende av ekosystemtjänster (ibid.).

Utbredningen av invasiva fiskarter har ökat de senaste åren och i takt med klimatförändringen verkar detta problem bestå (Havs- och Vattenmyndigheten 2023a). Europeiska unionen (EU) har infört en förordning i förhoppning att bekämpa de invasiva arterna som redan är etablerade men också för att motverka att flera invasiva arter kommer in i EU (Naturvårdsverket 2022). Förutom lagar och riktlinjer finns det även en vädjan till allmänheten om vad som bör göras vid upptäckandet av en invasiv art (Havs- och vattenmyndigheten 2022). Förutom att det idag finns förebyggande åtgärder så saknas tydliga riktlinjer för hur hantering av etablerade invasiva arter utförs, då det krävs individuella åtgärder mot varje art (SLU 2024). Om inte regelverk och åtgärdsprogram löser problemet med invasiva arter finns det en risk att de naturliga ekosystemen tvingas leva med dem och att naturen behöver anpassas efter de nya förutsättningarna (ibid.).

2.2.6 Sjukdomar

Sjukdomsspridning kan uppstå av naturliga orsaker, interaktion mellan invasiva och inhemska arter (Havs- och vattenmyndigheten 2015) och från mänsklig påverkan (Ahven u.å.). Naturligt förekommande fisksjukdomar uppstår efter ett svamp-, parasit-, virus- eller bakterieangrepp eller av vattenförhållanden som inte är lämpade för fisken. Sjukdomar tenderar att uppstå efter lek då skador kan ha inträffat vilket möjliggör att smitta kan angripa det öppna såret (Vättern u.å.). Fiskar har bra förutsättningar att stå emot sjukdomar men under stressiga och missgynnande vattenförhållanden finns det en risk att de insjuknar (ibid.). *Figur 5* visar en bild på en svampangripen öring.

Naturliga sjukdomar sprids då smittbärande fiskar kommer i direkt kontakt med en annan fisk eller via transport i vattnet. Smitta överförs lättare vid närkontakt mellan fiskar och kan till och med överföras direkt från moderfisk till avkomma (SVA 2024). På liknande sätt sprids sjukdomar från invasiva arter till inhemska arter förutom att dessa smittor är onaturliga för den inhemska arten vilket gör smittspridningen ännu allvarligare då det kan döda ut ett helt bestånd och även orsaka hälsoproblem för oss människor (Havs- och vattenmyndigheten 2015).

Klimatförändringen gör att svenska vatten kan få ett högre temperaturintervall vilket gynnar smittämnen och i sin tur gör att infektioner kan spridas snabbare i fiskbestånden (SVA 2010). Även farliga utsläpp från människan som leder till fisksjukdomar kan döda hela fiskpopulationer som innebär massdöd och som kan få förödande konsekvenser i näringsväven (SVA 2023).



Figur 5. En svampangripen öring fångad på en av TiVA:s fiskräknare den 10 oktober 2020 (Fiskevårdsteknik AB u.å.b.).

2.2.7 Stress

Fiskar kan bli stressade precis som oss människor (de Abreu et al. 2021). Anledningen till att fiskar blir stressade varierar mellan fiskarter men är dels grundade i fysikaliska förändringar av deras miljö i form av exempelvis temperaturförändringar eller av för låg syrehalt. Fiskar blir även stressade av kemiska förändringar såsom förorening och toxiner. Stress hos fiskar utsöndras också utifrån deras uppfattning av omgivningen, till exempel om predatorer är närvarande eller av drastiska förändringar i flödes hastigheten (Mazzi et al. 2023 ; Bruce 2002). Människans hantering av fiskar i exempelvis fångenskap kan också bidra till ett

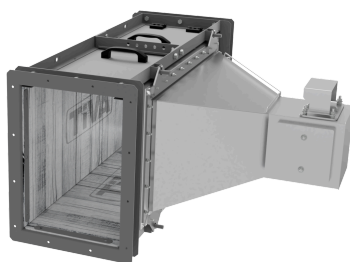
stresspåslag hos fiskarna. En kombination av flera förändringar i miljön kan ge upphov till en kumulativ stresseffekt hos fiskarna (Bruce 2002).

Stress hos fiskar märks via olika fysikaliska och biologiska förändringar hos fisken. Några fysikaliska indikationer att en fisk kan vara stressad är att den har förhöjd andningsfrekvens eller förändrat simmönster (Mateus et al. 2017). Några biologiska indikationer på att en fisk kan vara stressad är färgförändringar (ibid.) och ökad kortisolhalt i blodet (Aerts et al. 2015). Mätning av just kortisolnivån i blodet är en metod som har använts för att undersöka om fiskar kan utveckla kronisk stress eftersom att kortisolnivån ökar med stress och är en tidsbaserad process. På grund av sambandet kan kortisolhalten i blodet användas som en biomarkör för kronisk stress (ibid.). Återhämtningen efter en stressrespons hos en fisk kan vara alltifrån minuter till veckor. En stressrespons kan orsaka beteendeförändringar (Martínez-Porchas et al. 2009) hos fisken eller ge upphov till att fisken utvecklar kronisk stress (Aerts et al. 2015). Förutom åkommor som en fisk får av utvecklad kronisk stress försämras även läkningsprocessen för sår och skador (Virtanen et al. 2023).

2.3 TiVA:s AI-fiskräknare

År 2020 släppte TiVA sin första fiskräknare med artificiell intelligens (AI) (TiVA 2023a). Enligt TiVA (u.å.) använder deras AI-baserade fiskräknare högteknologiskamerateknik och självlärande algoritmer. Även om TiVA:s fiskräknare med AI-funktion är en relativt ny teknik kan den detektera fiskars storlek, specifika arter, svampangripna fiskar och hur fettfenan ser ut och räknar mer än 99,5 % av alla fiskar som passerar fiskräknaren (TiVA 2023a).

TiVA:s fiskräknare är hela tiden uppkopplade till en webbplattform, en molntjänst som samlar in data i realtid. Åtkomsten till datan nås via dator eller mobiltelefon och förutom åtkomst till data beskriver TiVA (u.å.) att det även finns rapport- och analysverktyg på plattformen som kan användas. Förutom momentan datainsamling till molntjänsten är fiskräknaren även utrustad med ett aktivt larmsystem som skickar larmmeddelanden via e-post och SMS till ansvarig personal om en funktion slutar fungera samt vilka åtgärder som behöver göras på plats (TiVA 2023c). Under natten när ljuset är begränsat för kameran används infraröd (IR) belysning istället för vanligt ljus för att undvika störning av fiskarna under deras passage (TiVA u.å.). Det finns även tilläggsfunktioner såsom solcellsdrift, räknartorn och PIT-antennar (TiVA 2023c). Fiskräknaren finns i två olika storlekar varav den stora väger 80 kg och har en längd på 1,4 m med ett innermått på 0,5 x 0,5 m. Den mindre modellen väger 70 kg och har en längd på 1 m med ett innermått på 0,4 x 0,3 m, se *Figur 6* (TiVA, u.å.).



Figur 6. TiVA:s minsta AI-fiskräknare med en längd på 1 m och ett innermått på 0,4 x 0,3 m (TiVA 2023c).

Den 25:e januari 2024 hade Fiskdata (u.å.a) fyra offentliga fiskräknarstationer med AI-teknik tillgängliga för allmänheten på sin webbplats. De fyra offentliga fiskräknarna är belägna i Gisslarbo (Hedströmmen), Trosa (Trosaån), Görarpsdammen (Råån) och Köpingsbro (Nybroån). Dessa offentliga stationer presenterar vattenföring, vattentemperatur och antalet nettoregistreringar per dag. En nettoregistrering är skillnaden mellan uppströmsvandrande fisk och nedströmsvandrande fisk och dessa nettoregistreringar presenteras i en tabell för olika fiskarter. Förutom data från fiskräknaren finns det en bakgrundsbeskrivning om den faktiska platsen och varför det valdes att installera en fiskräknare just där. Det finns även inspelade videor som är presenterade med datum och tid när en viss fisk har passerat (ibid.)

2.4 Konstruktionsdelar

2.4.1 Dimension för en kulvert / “gång”

För en fiskpassage som behöver passera ett hinder kan den enklaste lösningen vara att anlägga en kulvert (Persson & Leonardsson 2020). Kulvertar finns i olika storlekar och former där den vanligaste formen är cylindrisk eftersom att den formen är fördelaktig ur olika perspektiv (Creamer 2007). Fördelen med en cirkulär form är att den är mer hållbar mot tryck och eftersom att den är mer efterfrågad är den billigare än andra former samt att mycket är anpassat efter cirkulära kulvertar vilket underlättar installationsprocessen. Det installeras även fyrkantiga kulvertar som är fördelaktiga vid botteninstallation eftersom att marktrycket blir lägre på en fyrkantig kulvert gentemot en cylindrisk kulvert som har en mindre kontaktyta med botten (ibid.). Vid utformandet av en fiskpassage i form av exempelvis en kulvert är det viktigt att undvika vassa kanter samt skrovliga material så att fiskar inte får skrapskador eller övriga skador (Havs- och vattenmyndigheten 2013a ; Persson & Leonardsson 2020).

Oavsett fiskpassagelösning är en tillräckligt stor dimensionering en förutsättning för att en fisk ska känna sig trygg och ha möjligheten att manövrera sig fram (Persson & Leonardsson 2020). Det finns inga specifika krav angående dimensionering av en fiskpassage eftersom dimensionerna bör vara anpassade efter den särskilda situationen och omständigheterna i den naturliga miljön (ibid.). Det finns generella riktlinjer att trånga sektioner såsom passager mellan stenar eller andra naturliga hinder ska anpassa bredden utifrån den största fisken i systemet (Persson & Leonardsson 2020). Bredden på passagen ska vara minst 3 gånger fiskens bredd och djupet ska vara minst 2,5 gånger fiskens höjd (ibid.)

Från en studerad fiskpassage i Stornorrfors i Umeälven framkom det att en fiskpassage anpassad för lax bör överstiga en dimension på $0,4 \times 0,4 \text{ m}$ vid trånga passager och detta uppmärksammades utifrån laxens passageval då dem föredrog de 1,25 m breda överfallen istället för bottenhålens öppningar som hade en dimension på $0,4 \times 0,4 \text{ m}$. Missgynnande förutsättningar kan göra att denna riktlinje är svår att uppfylla så i kortare passager kan dimensionen på fiskpassager understiga dessa mått men 3 gånger fiskens bredd och 2,5 gånger fiskens höjd är en bra riktlinje att utgå ifrån (ibid.).

Längden på gångarna är också viktigt att ha i beaktande då en trång yta kan utsöndra stress hos fiskar (Bruce 2002). Vandringsfiskar såsom öring och lax har inga problem att passera långa trånga utrymmen såsom exempelvis kulvertar medan mindre fiskar kan ha svårigheter (Eklöv 2018). Det finns dock flera omlöp på över hundra meter, till och med upp till flera hundra meter där mindre fiskar har studerats utan att det har utgjort ett hinder eller problem för dem (Havs- och vattenmyndigheten 2013a).

Ett praktiskt exempel är ett omlöp förbi Slussen i Örebro med en längd på 180 meter och en bredd på 3,3 meter som inte var några problem för mindre fiskar. Förbipassagen hade till och med högst artrikedom av de undersökta vattendragen som utfördes med elfiske i Närke med nio olika fiskarter och även signalkräfter. Fiskar kan även passera längre kulvertar men då ska det strävas åt att det finns bra ljusinsläpp (ibid.).

2.4.2 Selektionsmekanism

Reglerbara klaffdörrar är användbara om syftet är att förändra klaffdörrens läge till följd av en händelse eller fördefinierad styrvariabel. Reglerbara klaffdörrar används exempelvis inom vattenkraft och då är det vanligt att klaffdörren öppnas i en vertikal riktning för att släppa på vattnet till turbinen (Naturskyddsföreningen 2021b) men det finns också klaffdörrar som öppnas som en vanlig dörr och detta kan exempelvis användas vid flyktöppningar i en fiskpassage (Persson & Leonardsson 2020).

För att erhålla en mekanisk rörelse oavsett klaffdörrens riktning är elektriska motorer användbara vilka finns i flera olika modeller. En gemensam nämnare för alla elmotorer är att de omvandlar elektrisk energi till rörelseenergi och skillnaden mellan motorerna är vilken typ av mekanisk rörelse som skapas och hur den interna konstruktionen är uppbyggd (Greensky Power 2023). Några exempel på elektriska motorer som erhåller en mekanisk rörelse från elektricitet som energikälla är stegmotorer, "vridmomentsmotorer" (torque motor) och kopplade reluktansmotorer. Beroende på ändamål och system är vissa motorer bättre lämpade än andra (ibid.).

När en stegmotor strömsätts roterar den åt ett visst håll till en fixerad vinkel med hjälp av en elektrisk puls. Genom att bestämma till vilken vinkel stegmotorn bör vridas reglerar motorn det genom att bestämma hur många elektriska impulser som ska utföras för att genomföra den specifika rotationen (ibid.).

En "vridmomentsmotor" (torque motor) är en likströmsmotor med permanentmagneter. Med fler permanentmagneter kan vridmomentsmotorn få en ett större vridmoment men långsammare rotation och vice versa (ibid.).

En kopplad reluktansmotor utnyttjar det magnetiska motståndet som uppstår i ett magnetiskt fält för att generera rörelseenergi. I dagsläget finns det problemområden för kopplade reluktansmotorer såsom stora vibrationer och motorljud (ibid.).

2.4.3 Maximal svängvinkel

Det finns inga riktlinjer för hur skarpa svängar en fisk klarar av att utföra i trånga utrymmen det vill säga det finns ingen maximal vinkel för svängar från exempelvis ett huvudflöde till en fiskpassage-mynning (Persson & Leonardsson 2020). Det som bestämmer vinkeln är naturliga vandringshinder, kulturmiljö, byggnadsteknik och dammsäkerhet. Vinkeln bör dock understiga 45 grader, helst 30 grader om möjligt och allra helst enligt "*ofta förekommande åsikter*" vara så snäv att anlockningsvattnet till fiskpassagen nästan är parallell med huvudflödet. Anledningen till att skarpa svängar bör undvikas ur hänsyn till anlockningsvattnet är för att undvika turbulensbildningar som förändrar riktningen på anlockningsvattnet vilket kan förvirra fiskarnas navigering. I situationer då vinkeln kan påverkas såsom vid exempelvis en fiskräknare bör anlockningsvattnet ha en "*sömlös*" anslutning med huvudflödet vilket innebär att kraftiga svängar bör undvikas. Detta är generella åsikter från personer som studerat ämnet men det finns inga faktiska riktlinjer utan de naturliga förutsättningarna i området är det som i huvudsak bestämmer vinkeln på svängar i trånga utrymmen (ibid.).

2.4.4 Sensorer

Sensorer som enbart registrerar en fisks närvaro utan detaljerad information som en AI-fiskräknare tillhandahåller finns men kan variera i uppbyggnad. Vanliga fiskräknare är resistiva räknare, optiska räknare och hydroakustiska räknare (Li et al. 2020).

Resistiva räknare är beroende av att fiskar måste passera genom en konstruktion eftersom elektroder måste monteras i närheten där fisken ska passera. Eftersom fiskar har annan resistivitet än vatten kommer elektroderna att ge utslag i en förändrad resistivitet om en fisk passerar nära elektroderna vilket resulterar i att en passerande fisk kan registreras (Li et al. 2020 ; Santonico & Cardarelli 2002).

Optiska räknare är som den resistiva räknaren också beroende av en konstruktion för installering. Infrarött ljus används vid en viss sektion där fiskarna ska passera och om ljusstrålarna bryts kan en passerande fisk registreras (Li et al. 2020).

Hydroakustiska räknare behöver inte en konstruktion där fiskarna måste passera utan kan installeras direkt i vattnet. Hydroakustiska räknare använder ekolodsteknik som innebär att en ljudvåg skickas iväg och studsar tillbaka och sedan registreras omgivningen. Fiskens simblåsa reflekterar en stor del av ljudet vilket möjliggör detektion av fisk (Li et al. 2020).

2.4.5 Enkelriktat system

En fisksluss kan se ut på många olika sätt men den har samma konstruktionella princip som en sluss för fartyg. Fiskarna simmar in i ett fack med hjälp av anlockningsvattnet som sedan fylls på med vatten så att vattennivån höjs till en tillräckligt hög nivå som möjliggör att fiskarna kan simma vidare till ett ytterligare fack. Antalet fack och vattenhöjningar bestäms utifrån höjden på hindret och systemets utformning (Havs- och vattenmyndigheten 2013a).

Ett annat enkelriktat system som används vid höjdskillnader är en fiskhiss. En fiskhiss ser ut som en stor bur dit fiskarna anlockas och samlas. Efter tillräcklig ansamling av fiskar stängs buren och hissas upp till en överliggande nivå vilket möjliggör för fiskarna att simma över till den nya vattenmiljön när dörrarna öppnas (Persson & Leonardsson 2020).

Förutom tekniska system finns det även passiva fiskeredskap som också är enkelriktade men där fiskarna istället fastnar. En ryssja är ett passivt fiskeredskap som består av en eller flera sektioner av ett avsmalnande konformade nätsystem, se *Figur 7* (SAOB 2024). Ringar av metall upprätthåller styrseln på ryssjan för att få den dimensionen som önskas (ibid.). Fiskarna tar sig in i systemet och väl inne i systemet så har de svårt att ta sig ut på grund av den konformade strukturen (WWF 2024b).

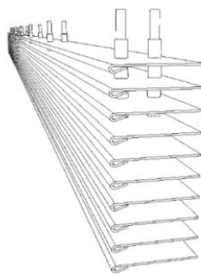


Figur 7. En modern ryssja med samma dimension från start till slut (Smögens nät u.å.).

2.4.6 Fiskanpassade galler

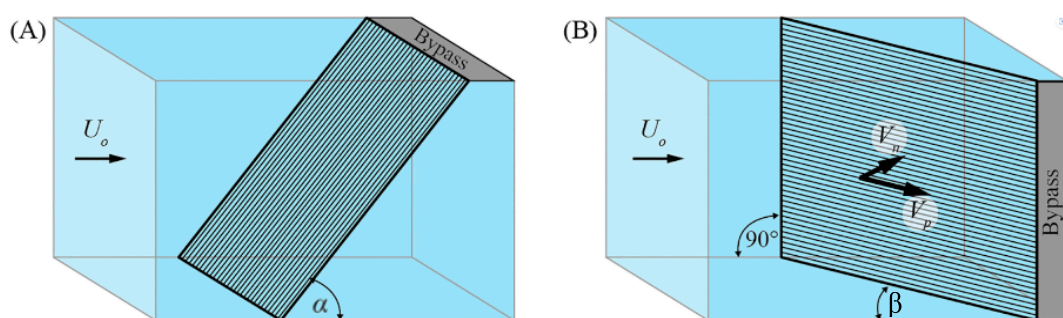
Fiskanpassade galler installeras i vattendrag för att styra fiskarna åt en viss riktning för att exempelvis undvika ett hinder eller leda fiskarna till en önskad passage (Havs- och vattenmyndigheten 2013a).

Hydrauliska fingaller är ett utvecklat galler för att minimera flödes- och fallförluster som är lätta att underhålla och är förskonade mot fiskar, se *Figur 8* (Fiskevårdsteknik AB u.å.a.). Metallstängerna i hydrauliska fingaller finns i olika former såsom olika plåtprofiler, rundstål och plattjärn. Förutom att gallret har olika formstrukturer kan det även bestämmas om metallstängerna ska vara i vertikal eller horisontell riktning beroende gallrets avsikt och syfte. Hydrauliska fingaller är även lätta att konstruera vilket gör dem billigare än andra gallersorter (ibid.).



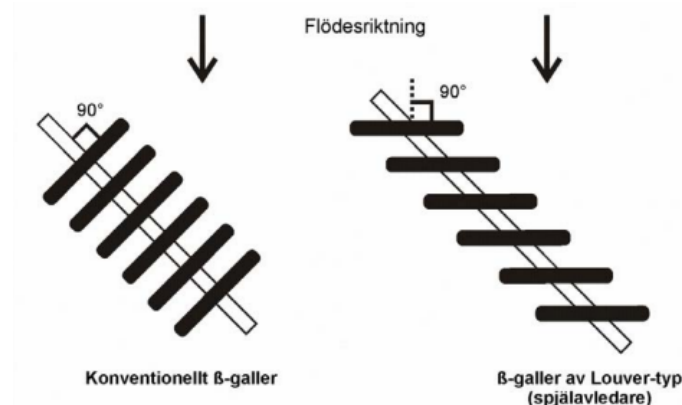
Figur 8. Ett hydrauliskt fingaller med en plåtprofil som efterliknar en strömlinjeformad flygplansvinge (Fiskevårdsteknik AB u.å.a.).

Förutom metallstängernas form och direktion är även placeringen av fiskgallret i vattendraget viktig beroende på vilket syfte som gallret ska ha i just det området (Havs- och vattenmyndigheten 2013a). Fiskanpassade α -galler är placerade så att gallret har en vinkel relativt horisontalplanet vilket är botten, se *Figur 9*. Med ökad α -vinkeln ökar lutningen på fiskgallret. α -galler används för att exempelvis leda fiskar över ett hinder där ett vanligt användningsområde är vid kraftverk för att undgå att fiskar åker in i turbinen (Meister et al. 2022). Fiskanpassade β -galler är till skillnad från α -gallret en stående modell där vinkeln är utifrån huvudfårans huvudsakliga rörelseriktning vilket gör att fisken leds till ena sidan av vattendraget, nedströmsänden av gallret, se *Figur 9* (Havs- och vattenmyndigheten 2013a). Fiskanpassade β -galler som är vinklade mot ett önskat område används för att exempelvis leda fiskar i ett vattendrag till en fiskräknare (Fiskevårdsteknik AB u.å.a.).



Figur 9. En modifierad schematisk bild där (A) beskriver ett fiskanpassat α -galler och (B) beskriver ett fiskanpassat β -galler (Meister et al. 2022).

Förutom konventionella fiskanpassade β -galler finns det även fiskanpassade β -galler av Louver-typ (Havs- och vattenmyndigheten 2013a). Skillnaden mellan konventionella β -galler och β -galler av Louver-typ är att den sistnämnda har vinklade metallstängerna för att få en vinkelrät riktning gentemot flödesriktningen, se en schematisk förklaring i *Figur 10*. Denna vridning av varje enskild metallstång gör att det bildas en turbulens i vattnet som kallas Louver-effekt, spjälleffekt vilket gör att fiskarna undviker det särskilda området. Vattenturbulensen är inte en fysisk barriär för fisken utan ett “psykologiskt” hinder eftersom att vattenturbulensen orsakar ett ändrat beteende hos fisken som leder till att de undviker området (ibid.).



Figur 10. En schematisk bild hur lutningen av metallstängerna skiljer sig mellan ett konventionellt β -galler och ett β -galler av Louver-typ (Havs- och vattenmyndigheten 2013a).

Ett problem med att förlita sig på en beteendeförändring hos fiskar är att arter som inte blir påverkade av turbulensen har möjlighet att passera genom metallstängerna eftersom att spaltbredden mellan metallstängerna är bredare för β -galler av Louver-typ än för konventionella β -galler. Anledningen till större spaltbredd är på grund av minskad materialåtgång då metallstängerna inte behöver sitta tätt för att få en turbulensliknande effekt som egentligen *ska* fungera som en beteendeförändrande barriär för fiskarna (ibid.).

Förutom galleranordningar som står i vattnet finns det även flytgaller som består av luftfyllda UV-tåliga rör som flyter av sig själva, se *Figur 11*. Bakom gallret finns det en installation i form av en "vinge" som gör att gallret lyfts upp med hjälp av vattnets tryck och därav skapar en blockad för fiskarna. Flytgaller är smidiga ur underhållssynpunkt eftersom skräpet åker upp till gallrets överkant vilket gör det lättillgängligt för rensning. En ytterligare fördel med flytgaller gentemot vertikalt installerade galler är att stora föremål som stockar och även kanoter kan passera utan större problem (TiVA 2023b).



Figur 11. En fiskräknare i Tommarpsån omgiven av vertikala galler och flytgaller (TiVA 2023b).

2.4.7 Storlek på fångenskap

Exempelområden var fiskar hålls i fångenskap är i akvarium eller vid fiskodlingar där de vistas i stora nätkassar (Tlusty 2002). Enligt jordbruksverket bör akvariefiskars vattenvolym inte understiga 40 liter om inte den särskilda fiskarten klarar av det och riktlinjer är att det bör vara en liter vatten per 5 cm fisk, samt 4 liter vatten för 10 cm fisk (SJVFS 2019:15). En mer generell tumregel säger dock att en akvariefisk ska ha 2-3 liter vatten per centimeter den är lång (Hornbach u.å.).

I fiskodlingar finns det inga krav för vilken vattenvolym en fisk bör ha eftersom att det skiljer sig mellan områden och är beroende på flera faktorer såsom vattenkvalitet, vattentemperatur, fiskstorlek och fiskmängd (Europeiska unionen 2020 ; Naturvårdsverket 1993). Enligt allmänna råd från Naturvårdsverket har en produktion av cirka 200 000 smolt som motsvarar cirka 10 ton fisk en besättningstätheten på vanligtvis $15\text{-}25 \text{ kg/m}^3$ (Naturvårdsverket 1993).

2.5 HEC-RAS

Hydrologic Engineering Center har utvecklat ett flodanalys system, “**River Analysis System**” (**HEC-RAS**) som möjliggör endimensionella och tvådimensionella vyer av ett hydrologiskt system (US Army Corps of Engineers u.å.). HEC-RAS kan laddas ner via HEC-RAS egna webbplats och är en gratis mjukvara. HEC-RAS är användbart vid studerande av exempelvis flödeshastigheter för olika delar av ett system, sedimenttransport, vattentemperatur och vattenkvalitet (ibid.). Höjddata är kompatibelt med HEC-RAS och kan laddas ner från olika källor varav en källa är lantmäteriets geodata (Lantmäteriet u.å.a.).

Nedladdning av topografisk data möjliggör att få en höjd på omgivningen runt sitt system vilket kan vara användbart vid exempelvis översvämningsanalyser (ibid.). Höjddatan kan georefereras till en satellitbakgrundskarta vilket ger insikten om höjddatan har blivit rätt inläst i HEC-RAS och att koordinatsystemet har implementerats korrekt (HEC-RAS User’s Manual 2024). Höjddatan presenterar topografin men inte batymetrin då laserskanningen som tas från luften registrerar ytor vilket gör att den registrerar vattenytan men inte vad som finns under den (Ny Nationell Höjdmodell 2009). För att ta reda på batymetrin, djupdatan av ett vattendrag, måste information insamlas på annat vis och offentliga handlingar är en värdefull resurs att leta efter sådan information. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) skapar översvämningsmodeller som är baserad på topografisk och batymetrisk data (MSB 2022) vilket kan vara en relevant källa men även Mark- och miljödomstolen kan ha ritningar för olika områden i deras arkiv (Sveriges Domstolar u.å.). Det finns även en möjlighet att hitta gamla dokument från olika markavvattningsföretag där mätningar i ett vattendrag kan ha gjorts (Jordbruksverket 2024) men något som är viktigt att ta i beaktande är att dåtidens höjddata behöver konverteras till nutidens höjddata, SWEREF 99 TM. Det finns även möjlighet att hitta djupdata som är producerad och skapad av privatpersoner som använt ekolod och laddat upp datan till en offentlig molntjänst som personer kan ta del av (Simrad 2024).

Förutom att leta upp digital djupdata finns också möjligheten att göra mätningar i vattendraget med en GPS som kan registrera tre dimensioner. Vid egen mätning är det viktigt att referera till en närliggande fixerad referenspunkt för att få rätt höjd över referenspunkten NAP i Amsterdam. Generell information om vattendragets avrinningsområde såsom vattenförling kan samlas in från S-HYPE.

Arbetet i HEC-RAS skiljer sig beroende på vad som ska göras men en metodik är att rita upp sitt system, exempelvis en “River” (“å”) där en befintlig å finns och sedan ritar “Bank Lines” (“banklinjer”) vid åns krön. Utanför banklinjerna kan det ritas “Flow Paths” (“flödesvägar”) för att HEC-RAS ska veta åt vilket håll flödesriktningen är. Efter att flödesvägarna har definierats kan “Cross-sections” (“tvärsektionerna”) ritas tvärs över alla streck från vänster till höger sett från flödesriktningens perspektiv. Efter att ha skapat tvärsektionerna kan deras form ändras vilket är nödvändigt i en å eftersom laserskanningen endast känner av vattenytan och inte åns batymetri.

Efter ritandet av alla relevanta linjer och ändringen av åns geometriska form kan in- och utmatningsparametrar föras in i systemet. Inmatningsparametern kan till exempel vara i form av vattenföringen och utmatningsparametern kan vara "Normal depth" som är lutningen av botten för systemet. Om utmatningsparametern väljs att vara lutningen av systemet är det bra att ta till en extra längd på systemet så att resultatet blir mer förlåtande än om en kort distans väljs då lutningen eventuellt kan vara väldigt brant i just den sektionen.

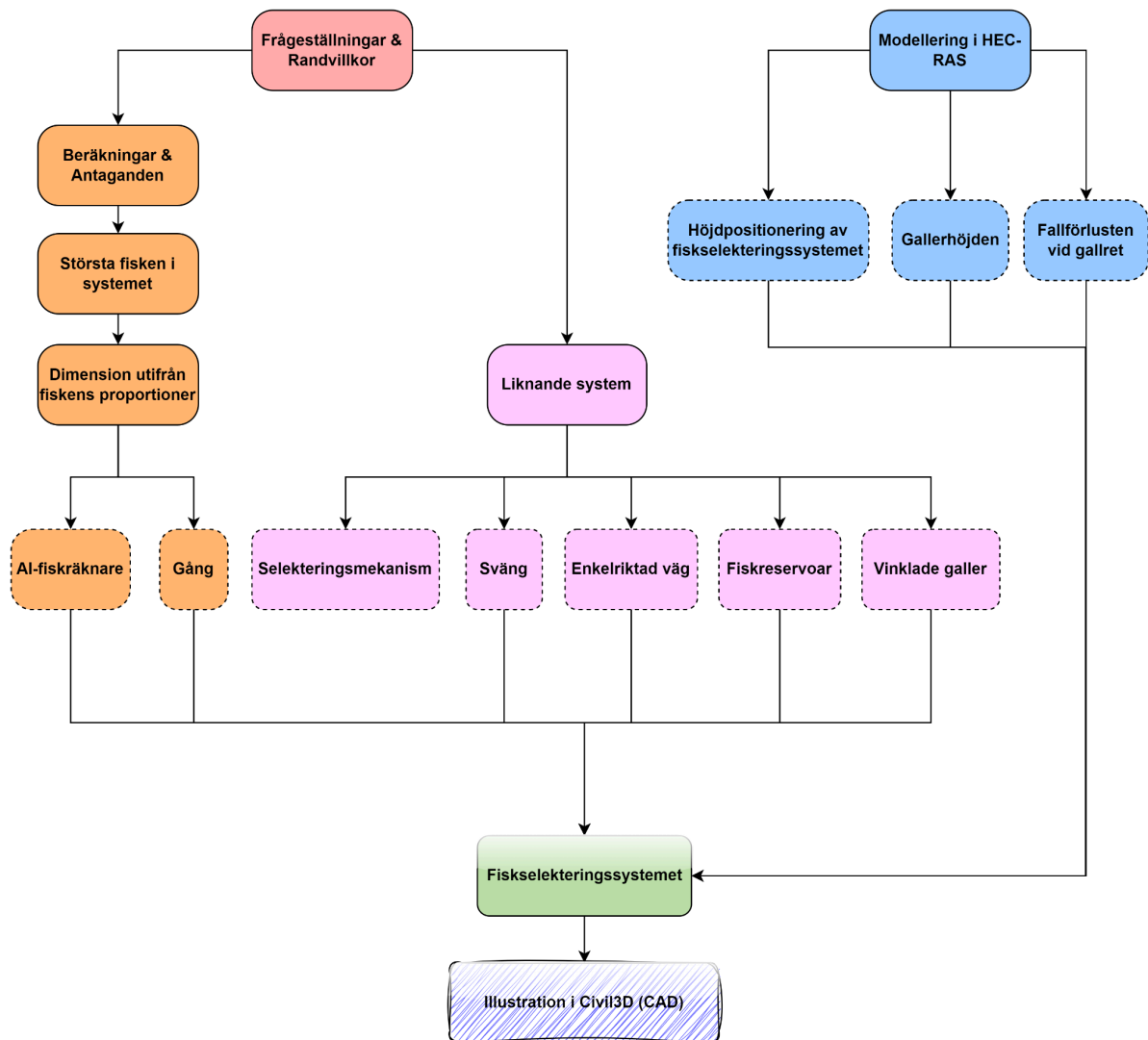
Det behöver även läggas in en skrovlingskoefficient (Mannings tal) för olika delar av ån. Mannings tal tar hänsyn till hinder och motstånd som finns i ån i form av växtlighet, stenar eller andra naturligt förekommande hinder. Ett högt Mannings tal indikerar på lite naturliga hinder, skrovligheter och vice versa. I HEC-RAS anges Mannings tal som ett inverterat värde vilket innebär att ett högre Mannings tal indikerar på mer motstånd och vice versa. Ett exempel på en Manningstalstabell kan ses i Bilaga D.1.

Efter allt är färdigritat och det finns en given inmatnings-, utmatningsparameter samt inlagda Mannings tal kan simuleringen köras. Resultatet som erhålls är exempelvis vattenståndet och flödeshastigheten vilket kan studeras i ett tvärsnitt, i en överblickande vy och även i en 3D-vy.

3 Metod

Huvudidén var att fiskselekteringssystemet skulle bestå av en AI-fiskräknare följt av en gång, selekteringsmekanism, sväng, sensor, enkelriktad väg, fiskreservoar och allt detta omringat av vinklade galler som leder fiskarna genom detta system. Prioriteringsordningen för utformningen av konstruktionsdelarna för fiskselekteringssystemets utgick primärt från lagar och riktlinjer och om inte sådan information fanns tillgänglig baserades det på liknande system och de krav som ställdes på dem. Vid avsaknad av liknande system genomfördes beräkningar och modelleringar. Slutligen, om inte ens detta fanns att tillgå, gjordes antaganden.

Varje del av konstruktionen argumenterades fram utifrån bakgrundsavsnittet och randvillkoren som beskrivs i 3.1.1 *Randvillkor*. Fasta mått har tagits fram för konstruktionsdelarna i fiskselekteringssystemet men dimensioneringen av systemet varierar beroende på de största potentiella fiskar som finns i det aktuella vattendraget. Se *Figur 12* för ett schematiskt flödesschema som beskriver metodiken för uppbyggnaden av fiskselekteringssystemet.



Figur 12. Ett schematiskt flödesschema som beskriver metodiken för uppbyggnaden av fiskselekteringssystemet.

3.1 Fiskselekteringssystemets uppbyggnad

3.1.1 Randvillkor

Utgångspunkten för konstruktionen av fiskselekteringssystemet var att den skulle vara anpassad och ha kapaciteten att ta hänsyn till den potentiellt största fisk som rimligtvis kan vistas i systemet. Fiskselekteringssystemet konstruerades med avsikt att fiskarna som befinner sig i systemet skulle ha tillräckligt med manövreringsmån, få minimerat stresspåslag och överlag må bra i hela konstruktionen vilket går i linje med frågeställning 2. Något som också togs i beaktning var att ha så liten materialåtgång som möjligt, att ta så lite vattenanspråk som möjligt och ha så få tekniska delar som möjligt. Det bedömdes även som viktigt att ha ett universellt system som funkar för alla olika fiskarter, att ha en konstruktion som kräver så lite underhåll som möjligt samt att hålla kostnaderna så låga som möjligt. Fiskselekteringssystemet var alltså utformat för att försöka få fram den mest optimala lösningen för att uppfylla alla dessa randvillkor och detta går även i linje med frågeställning 3.

3.1.2 Teoretisk installation av fiskselekteringssystemet

För att konkretisera konstruktionen av fiskselekteringssystemet gjordes det en teoretisk installation i Nybroån, Köpingsbro. Nybroån är belägen i södra Sverige öster om Ystad och är ett av Sveriges främsta vattendrag för reproduktion av havsöring (Nybroån u.å.). Nybroån valdes slumpvist ut av de offentliga stationer med AI-fiskräknare som fanns att tillhandahålla för att kunna säkerställa att konstruktionen kan appliceras på vilken önskad plats som helst.

3.1.3 Vattenföring och vattenstånd

Höjdspositionen i vattenmassan är viktig för att kunna fastställa att fiskselekteringssystemet alltid kommer att vara vattenfylld, särskilt under MLQ-förhållanden och för att kunna undvika ett onödigt djupt system som kan ge upphov till ackumulation av sediment i gången. Eftersom det är en långsammare hastighet närmare botten gentemot högre upp i vattenmassan sker det mer sedimentation närmare botten och ett gränsvärde när sedimentation börjar uppstå är då flödes hastigheten understiger 0,3 m/s (Havs- och vattenmyndigheten 2013a). Sediment kan även transporteras längs botten och in i gången. Fiskselekteringssystemets högsta punkt valdes så att den är i angränsning till vattenytan under MLQ-förhållande, alltså vara så högt upp i den pelagiska vattenmassan som möjligt men ändå vara under vattenytan under MLQ-förhållanden.

För att veta vilken höjd från botten fiskselekteringssystemet ska vara belägen användes HEC-RAS för att reda på hur högt vattenståndet var under MLQ. Metodiken som utfördes i HEC-RAS beskrivs i avsnittet 3.2 *HEC-RAS*.

3.1.4 Största fisken i systemet

Trots att stören är den största anadroma fisken i svenska vattendrag valdes det att *inte* utforma fiskselekteringssystemet utifrån den fisken. Anledningen till detta är att stören är återinförd på grund av att den har varit utdöd. Återinförandet av stör *kan* innebära etablering av fiskbeståndet men garantin är för osäker för att fiskselekteringssystemet skulle baseras på fullvuxna störar.

Om det bortser från stören framgår det i 2.2.3 *De största naturligt förekommande sötvattensfiskar och diadroma fiskar i Sverige* att malen är den näst största fisken i svenska vatten. Trots malens längd och storlek valdes det ändå att inte utforma fiskselekteringssystemet baserat på denna fisk. Enligt avsnitt 2.2.3 *De största naturligt förekommande sötvattensfiskar och diadroma fiskar i Sverige* är malar skickliga och smidiga simmare som oftast föredrar att vara stationära och Nybroån är ett vattendrag där malen vanligtvis inte förekommer. På grund av denna information ansågs det inte särskilt motiverat att anpassa fiskselekteringssystemet efter malen. Mot förmodan att malen ändå skulle vistas i systemet de få gångerna de vandrar gjordes det ett antagande att de klarar av fiskselekteringssystemets utformning på grund av dess manövreringsförmåga och smidighet.

Eftersom fiskselekteringssystemet inte kommer vara specifikt utformad och anpassad efter de två största fiskarna i svenska vatten på grund av osäker utbredning och stationaritet samt smidig simförmåga utvärderades den tredje största fisken i svenska vattendrag, den anadroma fisken lax. För att ta reda på om laxen är en lämplig fisk att basera fiskselekteringssystemet på i Nybroån togs det reda på om laxar befinner sig i det vattendraget.

Laxen brukar inte vandra i Nybroån men det har förekommit och 2013 fångades en lax på film av en fiskräknare i Nybroån (Fiskevårdsteknik AB 2013). Det nämns även i en tidskrift från 1966 att det en gång i tiden fanns det så rikligt med laxfisk i Nybroån att pigor och drängar var tvungna att äta det minst tre gånger i veckan innan städjekontraktet skrevs som "befriade" dem från en sådan kost (Ehnbom 1966). På grund av historien från tidskriften och filmdokumentationen av lax i Nybroån valdes det att konstruera fiskselekteringssystemet utefter laxens maximala storlek vilket är en längd på 1,5 m och en vikt på 50 kg. Utöver hänsyn och anpassning efter laxens behov hade frågeställning 2 en betydande roll vid uppbyggandet av detta fiskselekteringssystem.

För att kunna dimensionera gången i fiskselekteringssystemet behövde laxens proportioner vara kända. Statistiska data såsom längd, höjd och bredd finns inte för en lax med den storleken eftersom det inte finns någon officiellt dokumenterad svensk lax med en längd på mer än 1,35 m med en vikt på över 28,7 kg.

Eftersom laxens proportioner saknas användes två olika beräkningsmetoder för att räkna ut laxens anatomiska form. Två olika beräkningssätt från olika källor valdes för att validera och bekräfta trovärdigheten i resultatet. Den första metoden är baserad utifrån en studie som har studerat 298 odlade Atlantlaxars storleksutveckling och har kommit fram till en korrelation mellan vikt och omkrets (Petrell & Jones 2000) som användes för att beräkna omkretsen för den största potentiella laxen i fiskselekteringssystemet. Ekvationen från studien kan ses i *Ekvation 1*.

$$M = 0,2012G^{2,72} \quad (1)$$

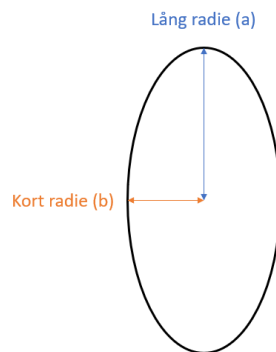
M står för massa och G står för omkrets.

Den andra beräkningsmetoden gjordes utifrån en ekvation som är baserad på datainsamling från fiskares fångster som tillhandahåller ett förhållande mellan vikten av en lax utifrån dess omkrets och längd vilket kan ses i *Ekvation 2* (FishSwami 2024 ; Trout Unlimited u.å. ; Willie Boats u.å.).

$$W = \frac{L \cdot G^2}{800} \quad (2)$$

W står för vikt, L står för längd och G står för omkrets.

Efter beräkning av omkretsen distribuerades den på laxens kroppsyta och eftersom en lax anatomiska form är strömlinjeformad (Sportfiskarna 2013) ger det en ovalformad omkrets (Petrell & Jones 2000). Det finns inga empiriska riktlinjer för en lax kroppsliga proportion men utifrån konsultering med fiskkunniga personer och genom egna observationer antogs det att en lax är cirka dubbelt så hög som den är bred. *Figur 13* illustrerar det antagna förhållandet att en lax är dubbelt så hög som den är bred, vilket representeras av en ellips med samma proportioner.



Figur 13. En elliptisk form som illustrerar att det finns en lång respektive kort radie. Det proportionerliga förhållandet på ellipsen är att den långa radien är dubbelt så hög som den korta radien är bred.

Liksom för omkretsen valdes två olika beräkningssätt från olika källor för att validera och bekräfta trovärdigheten i resultatet. Med hjälp av Ramanujan approximativa ekvation för en omkrets av en ellips kunde denna distribution utföras (Villarino 2008). *Ekvation 3* är formeln som användes för att få fram bredden samt höjden för en lax.

$$O \approx \pi (a + b) \cdot \left(1 + \frac{3h}{10 + \sqrt{4 - 3h}}\right) \quad (3)$$

O är omkretsen, a och b är den långa respektive korta radien (båda radierna illustreras i *Figur 13*) och h som kan ses i *Ekvation 3* är ett förhållande mellan a och b som beskrivs uttryckligen i *Ekvation 4*.

$$h = \frac{(a-b)^2}{(a+b)^2} \quad (4)$$

Den andra ekvationen som användes för beräkning av höjden är ett givet förhållande mellan vikt och höjd som presenteras i studien av Petrell & Jones (2000) som kan ses i *Ekvation 5*.

$$M = 4,043H^{2,55} \quad (5)$$

M står för massa och H står för höjd.

3.1.5 Gångens dimension

För att uppnå randvillkoren och behandla frågeställning 2 bör gången innan selekteringsmekanismen vara så kort som möjligt så att stress inte framkallas hos fiskarna men ändå vara tillräckligt lång så att den snabbaste simmaren inte hinner simma fram till vägvalet innan selekteringsmekanismen har ändrat läge. I svenska vattendrag är laxen den snabbaste simmaren med avseende på storlek (Fish Protection Tools u.å.) och dess längd är proportionerlig mot simhastigheten (Havs- och vattenmyndigheten 2013a).

Fiskar simmar antingen i marschfart som innebär en hastighet som kan upprätthållas under minst 200 minuter, förhöjd fart som är den fart som kan upprätthållas mellan 15-20 sekunder till max 200 minuter eller maximal hastighet som är en hastighet som kan upprätthållas i maximalt 15-20 sekunder (Havs- och vattenmyndigheten 2013a). Marschfart är en lugn strosande fart som används när fiskarna inte behöver anstränga sig och den förhöjda farten används när de vill passera ett svårt område eller lättare hinder. Den maximala farten används endast vid försök att fånga föda, undgå från att själv bli uppäten eller för att överkomma enstaka svåra hinder. Fiskar undviker att använda maximal fart om det inte behövs då det bidrar till hög mjölksyrabildning vilket leder till att det tar lång tid tills fisken kan återhämta sig (ibid.).

Gångens längd valdes att utformas efter laxens förhöjda fart eftersom att det är rimligtvis den maximala hastigheten som laxen bör använda eftersom gången inte är ett hinder utan "endast" en trängre miljö. Den förhöjda farten beräknades genom att utgå ifrån riktlinjerna från Havs- och Vattenmyndigheten (2013a) att en lax simhastighet i meter per sekund är ett värde i intervallet mellan två och fyra gånger laxens längd. Det högsta värdet i detta intervall användes så att fisken inte hinner simma till vägvalet innan klaffdörren ändrar riktning, det vill säga fyra gånger laxens längd.

Detta betyder att 6 meter är den maximala sträckan som en 1,5 meters lax hinner simma på en sekund. Om selekteringsmekanismen byter från ena sidan till andra sidan på en sekund skulle det innebära att fisken precis skulle vara framme vid klaffdörren efter ändrat läge om längden på gången skulle vara sex meter. Eftersom fiskar blir stressade av förändringar i deras närmiljö vid exempelvis drastiska förändringar måste klaffdörrens rörelse tas i hänsyn och en extra längd på gången måste läggas till så att fisken inte blir stressad. I detta system är det extra viktigt att ta hänsyn till diverse orsaker som kan bidra till stresspåslag eftersom att fisken redan kan vara stressad på grund av det trånga utrymmet vilket då skulle kunna leda till ett kumulativt stresspåslag.

Eftersom det inte finns något givet mått eller indikation på vilket mått som bör användas under särskilda omständigheter, valdes det ett påslag på en meter vilket gav en totallängd på sju meter i den första sektionen mellan fiskräknaren och klaffdörren. Sju meter bör vara tillräckligt långt för den största tänkta fisken i systemet men inte för långt för de minsta tänkta fiskarna i systemet vilket det inte bör vara enligt bakgrundsavsnittet 2.4.1 *Dimension för en kulvert / "gång"*.

För att en fisk ska ha manövreringsmån och känna sig trygg under omständigheterna i gången användes informationen från 2.4.1 *Dimension för en kulvert / "gång"* som ledde till att djupet valdes att vara minst 2,5 gånger fiskens höjd och att bredden valdes att vara minst 3 gånger fiskens bredd. Se *Ekvation 6 och 7* för förhållandena (ibid.). På grund av antagandet att höjden är dubbelt så stor som bredden kunde *Ekvation 7* använda sig av samma termer som i *Ekvation 6*.

$$Djup_{Gång} = Höjden \cdot 2,5 \quad (6)$$

$$Bredd_{Gång} = Bredden \cdot 3 = \frac{Höjden}{2} \cdot 3 = Höjden \cdot 1,5 \quad (7)$$

3.1.6 Formen på gången

Eftersom en cylindrisk och kvadratisk form för en kulvert (gång i detta fall) är de vanligaste förekommande formerna undersöktes det i denna studie vilken av dessa två former som var mest optimal utifrån materialåtgång, pris, enkelheten i installation och åtkomst av material. Eftersom fiskar känner stress vid trängre miljöer valdes det att undersöka vilken form som hade störst tvärsnittsarea i förhållande till omkretsen. För att bedöma förhållandet mellan materialåtgången och tvärsnittsarean användes geometriska ekvationer, se Bilaga C.4.

3.1.7 Selektionsmekanism

För att uppfylla frågeställning 3 och för enkelhet i konstruktionen valdes det att ha en klaffdörr som vrids från ena läget till det andra när fiskar selekteras ut och för att vara så självrensande som möjligt. För att undvika stora krafter och påfrestningar av vattenflödeskraften bestämdes det att klaffdörren ska bestå av samma galler som presenteras i 3.1.11 *Fiskanpassat galler* och vara vridbar i en sådan vinkel att klaffdörren utnyttjar vattenflödeskraften istället för att missgynnas av den. Motorn som ansågs vara mest lämpad för denna klaffdörr var stegmotorn som har en justerbar vinkelvridning.

3.1.8 Maximal svängvinkel

Baserat på de "förekommande åsikterna" som presenteras i 2.4.3 *Maximal svängvinkel* valdes svängen in till fiskreservoaren att vara 45 grader eftersom en mindre vinkel gör att passagen blir trängre än nödvändigt. Detta är inte en tvär 45 gradig sväng utan hälften av passagen är rakt fram medan ena sidan breddar ut sig med en vinkel på 45 grader tills breddkravet enligt *Ekvation 7* är uppnått vilket säkerställer att svängen går i enlighet med de "förekommande åsikterna".

Den andra svängen ut i vattendraget valdes att ha en vinkel på 30 grader eftersom den följer riktlinjer för vinkeln på gallret vilket presenteras i avsnitt 3.1.11 *Fiskanpassat galler*. Skillnaden med svängen ut i det naturliga vattendraget och svängen in i fiskreservoaren är att

svängen ut i vattendraget breddar sig hela tiden. Eftersom att svängen direkt mynnar ut i det naturliga vattendraget och blir ständigt bredare bör vinkeln inte vara något problem utifrån liknande argument som svängen in i fiskreservoaren.

3.1.9 Sensorer

En sensor för att kunna registrera att en fisk är utselektad är nödvändig för att klaffdörren ska få en signal när den ska stängas. Eftersom sensorn ska fungera i alla olika typer av vatten och vattendrag måste den kunna verka universellt. För att undvika många komponenter i sensorn som kan orsaka underhållsbehov och utbyte av komponenter uteslutas den resistiva räknaren med elektroder. Även den optiska räknaren uteslutas eftersom i grumligare vatten fungerar inte ljusstrålarna lika effektivt (Li et al. 2020). Detta resulterade i att den hydroakustiska räknaren valdes som sensor för detektion av fiskar som kommit in i selekteringsdelen av systemet. Den hydroakustiska räknaren valdes att placeras 1,5 meter efter klaffdörrens ändläge i fiskelekteringsgången för att vara säker på att den största potentiella laxen har passerat innan klaffdörren stängs.

3.1.10 Enkelriktat system

För att vara så simpelt men ändå fungera så universellt som möjligt valdes ett enkelriktat system utan fiskslussar och fiskhissar. Fiskslussar och fiskhissar rekommenderas att endast installeras och användas om det är väldigt branta dalsidor som gör det svårt för anläggandet av naturliga fiskvägar i området, begränsning i form av kulturmiljöer i områdets omnejd eller vid höga dammar (Havs- och vattenmyndigheten 2013a).

På grund av teknikaliteter och den komplexitet som en fisksluss och fiskhiss medför var dessa inte att föredra i detta system då randvillkoren och frågeställning 3 inbegriper att eftersträva minimalt pris, simplicitet och så lite underhåll som möjligt. Fiskslussar och fiskhissar kan även påverka fiskar negativt då systemen är människostyrda vilket kan orsaka förvirring hos fiskar som inte hunnit in i systemet innan förflyttningen ska genomföras. Det kan bli långa pauser i överföringsprocessen med dessa system, precis som det blir för båtar när de behöver slussas. För exempelvis fiskhissar kan det ta en kvart till flera timmar innan burens sänks ner till den nedre nivån då hissen behöver vänta tills alla fiskar ska simma ut innan den sänks ner igen (ibid.).

Eftersom fiskhissen och fiskslussen är tekniska system som kan behöva underhåll och som används vid väldigt höga höjdskillnader när ingen annan åtgärd verkar möjlig så uteslutas dessa system. Istället för tekniskt styrda system valdes det att ha en enkelriktad väg i form av en ryssja i fiskelekteringsystemet.

3.1.11 Fiskanpassat galler

I fiskelekteringsystemet behöver fiskarna ledas in från hela vattendragets bredd till en specifik punkt, det vill säga fiskräknaren. Eftersom att en avledning från kanterna på ån till en specifik plats behövde utföras användes ett fiskanpassat β -galler för detta syfte. För att

undvika att fiskarna kläms fast i gallret och istället glider längs gallret om flödeshastigheten övervinner fiskens simkapacitet vid nedströmsvandring finns det ett förhållande mellan normalhastigheten och flödeshastigheten som ger en resulterande svephastighet som beskriver glidningen längs gallret (Havs- och vattenmyndigheten 2013a).

Med en vinkel på minst 45 grader kallas gallret för ett låglutande galler och den resulterande kraften, svephastigheten blir då större än den vinkelräta kraften in mot gallret vilket resulterar i en svep- / glideffekt längs gallret. För en effektiv svepeffekt bör gallret ha en vinkel på minst 30 grader med avseende på huvudfårens huvudsakliga flödesriktning vilket medför att kraften längs gallret är dubbelt så stor som den vinkelräta kraften in mot gallret (ibid.).

En 30 graders vinkel på gallret var den vinkeln som valdes för att få en effektiv svep- / glideffekt längs gallret. För att ytterligare underlätta glidfunktionen valdes det att metallstängerna ska ligga i horisontell riktning vilket även ger en bättre avledande effekt för skräp gentemot vertikal positionering av metallstängerna vilket går i linje med frågeställning 3. Horisontella metallstänger bidrar även till vägledning för fiskar under låga flöden (de Bie et al. 2018).

Valet gjordes att använda ett konventionellt β -galler och inte β -galler av Louver-typ eftersom att ett β -galler av Louver-typ inte möter kraven i frågeställning 2 eftersom stresspåslaget som turbulensbildningen orsakar inte accepteras. En ytterligare anledning varför ett β -galler av Louver-typ är olämplig för detta fiskselekteringssystem är på grund av den breda spaltbredden som gör det möjligt för både små fiskar, som inte blir påverkade av turbulensen och stora fiskar, om ingen turbulens bildas vid låga vattenflöden, att simma igenom gallret.

Gallertypen valdes även i hänsyn till att minimera fallförlusten vid gallret. *Ekvation 8* användes för att beräkna fallförlusten med hjälp av gallrets positionering och utformning.

$$\Delta H_f = \beta \cdot \sin \alpha \cdot \left(\frac{d}{a}\right)^{1,25} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (8)$$

ΔH_f står för fallförlusten, β står för friktionskoefficienten, α står för vinkeln som gallret har med avseende på huvudfårens huvudsakliga flödesriktning, d står för tjockleken på metallstängerna, a står för spaltbredden mellan metallstängerna, v står för flödeshastigheten och g står för gravitationen som är ett givet tal på cirka $9,82 \text{ m/s}^2$ i södra Sverige (Lantmäteriet u.å.b.). Värdena för varje term i *Ekvation 8* valdes med utgångspunkten att få så minimal fallförlust som möjligt och motiveringarna för varje term presenteras i de följande styckena.

I *Tabell 1* visas olika värden för β -koefficienter, friktionskoefficienter för olika metallformer, hämtade från Vattenkraft (2024). Utifrån *Tabell 1* kan det avläsas att en strömlinjeformad

form som en flygplansvinge har lägst friktionskoefficient gentemot de andra metallformer och därför är det den formen som valdes för metallstängerna i det fiskanpassade hydrauliska fingallret.

Tabell 1: Olika friktionskoefficienter (β) beroende på metallform, hämtade från Vattenkraft (2024).

Metallform	β
Rektangulära	2,42
Rektangulära med rundning framtill	1,83
Rektangulära med rundning både fram och bak	1,67
Rektangulära med rundning fram och kort avsmalning bak	1,03
Rektangulära med rundning fram och lång avsmalning bak	0,92
Strömlinjeformade som en flygplansvinge	0,76
Runda	1,79

Utifrån svepeffektens argument som är beskrivet ovan nämndes det att gallret bör ha en vinkel (α) på 30 grader med avseende på huvudfårans huvudsakliga flödesriktning för en effektiv svepeffekt och denna vinkel behölls trots att fallförlusten minskar med en ännu mindre vinkel. Anledningen till att mindre vinkel inte valdes är för att gallret blir onödigt långt, svårare att hantera och installera, onödig kostnad, onödigt stor reservoar och att fiskselekteringssystemet tar onödigt stort vattenanspråk vilket inte går i linje med randvillkoren eller frågeställning 3.

Tjockleken på metallstängerna (d) kan specialanpassas men detta är inget som ansågs nödvändigt i detta fallet vilket ledde till att standardmåttan var det som användes för att undvika extra kostnader. Eftersom metallformen är strömlinjeformad som en flygplansvinge är det två olika tjocklekar på varje metallstång, dels metallens tjocklek och tjockleken vid metallens framkant (öglan) som skapats efter böjning av metallen, se *Figur 8*. Metallens tjocklek valdes att ha ett standardmått på två mm vilket medförde att öglans tjocklek blev åtta mm.

En tät spaltbredd (a) mellan metallstängerna ger högre fallförlust och högre kostnad (på grund av mer materialåtgång) men bidrar till att färre fiskar kan passera gallret och vice versa. Utgångspunkten för valet av spaltbredd var att försöka uppnå optimum mellan fallförlust, materialkostnad och minimal risk att fiskar smiter. Fiskevårdsteknik AB (u.å.a.) har fiskgaller med standardmått för spaltbredd på 10-20 mm men dessa mått går att specialanpassa om det önskas. Spaltbreddsmått justeras utifrån vetskapen att fiskar försöker pressa sig igenom gallret, fastnar och dör (Havs- och vattenmyndigheten 2013). Tidigare i Tyskland fanns en riktlinje att spaltbredden bör vara 20 mm men med nyare kunskap har det tagits fram att en laxsmolt på 120 mm kräver en spaltbredd på max 12 mm för att inte passera gallret (Havs- och vattenmyndigheten 2013). Det nämns även att spaltbredd inte bör vara mer än 10 mm för

att laxsmolt fysiskt ska utestängas från att passera gallret (ibid.) vilket indikerar att med en spaltbredd på 12 mm finns det möjlighet för laxsmolten att pressa sig igenom metallstängerna. Eftersom fiskar redan kan vandra vid en längd på 30-70 mm valdes det att ha en liten spaltbredd. Spaltbredden kan i princip tätas hur mycket som helst (tills öglorna tar i varandra) men denna täthet bestämdes utifrån prisrimlighet, minimering av fallförlusten och hur ofta utselektering av småfiskar förväntas göras. Eftersom det var svårt att förutse hur små fiskar som behöver selekteras ut bestämdes spaltbredden utifrån denna ovisshet. För att säkerställa en fungerande selektering av mindre fiskar valdes det minsta standardmåttet på 10 mm (Fiskevårdsteknik AB u.å.a.) och genom att undvika specialanpassning undveks extra kostnad vilket även tar hänsyn till frågeställning 3.

Den sista okända termen, flödes hastigheten (v) gick inte att bestämma eftersom det är utifrån de naturliga förutsättningarna på platsen. För att säkerställa att flödes hastigheten inte resulterade i en hög fallförlust vid gallret inhämtades flödes hastigheten med hjälp av HEC-RAS vars metodik beskrivs i 3.2 *HEC-RAS* som möjliggjorde att fallförlusten kunde beräknas med hjälp av *Ekvation 8*.

Den angivna informationen resulterade i att fiskselekteringssystemets galler bestod av ett fiskanpassade hydrauliskt fingaller av konventionell β -typ med metallstängerna positionerade i horisontell riktning och med variabelvärden som presenteras i *Tabell 2*.

Tabell 2: Tekniska specifikationer för det fiskanpassade gallret som har samlats in med syfte att minimera fallförlusten vid gallret.

Variabler	Värden
β -koefficient (friktionskoefficient). Strömlinjeformad som en flygplansvinge	0,76
α (vinkeln på gallret utifrån flödet)	30 grader
d (metalltjocklek) Plåt	2 mm
d (metalltjocklek) Ögla	8 mm
a (spaltbredd)	10 mm

3.1.12 Gallerhöjd utifrån de bästa hopparna

Fiskar undviker att hoppa om det inte är nödvändigt då hoppet kräver mycket energi samt avger ljud ifrån sig som gör dem exponerade för rovfiskar (Havs- och vattenmyndigheten 2013a). Fiskar hoppar endast när de vill överkomma ett hinder under lekvandringen eller om de råkar hoppa när de jagar föda. Vid uppbyggnaden av en fiskväg där hoppförmågan hos fiskar måste bedömas tas det endast hänsyn till öring och lax och inga andra fiskar. Eftersom laxen tenderar att bli större än öringen baserades gallerhöjden utifrån laxens hoppkapacitet (ibid.).

Laxar har dokumenterade hopp på cirka 1-2 meter medan det finns ett extremfall som presenterar ett hopp på 3,7 meter (Havs- och vattenmyndigheten 2013a). En aspekt som togs hänsyn till vid beräkning av hopphöjden var djupet då det är en begränsande faktor för vilken hopp höjd som fiskar kan lyckas åstadkomma. Djupet måste vara 1,25 gånger höjden av hindret för att fiskar ska ha tillräcklig ansats för att ta sig över ett hinder (ibid.).

Höjden på fiskgallret behöver vara tillräckligt högt så att fiskarna inte ska kunna simma över det under högvattenföring men inte heller hoppa över dem under vandringstider som antogs vara under MQ-förhållanden. Anledningen till att MQ bedömdes vara vattenföringen under vandringstider och användes som utgångspunkt för gallerhöjden är eftersom att alla högre dokumenterade vattenföringar än MQ i Nybroån som finns i S-HYPE är under månaderna november till februari, se Bilaga E.1. Detta är inte vanliga lekvandringstider för fiskar vilket innebär att fiskarna inte har behovet att överkomma hinder för att nå sin lekplats under dessa tider. En annan anledning varför gallret valdes att vara ett hoppskydd utifrån MQ-förhållanden och inte utifrån HQ50-förhållanden är på grund av att det är onödigt att gallret ska vara baserat på ett extremflöde som sannolikt endast inträffar vart 50:e år och att gallret den resterande tiden ska vara outnyttjad och som även kan bidra till instabilitet i konstruktionen på grund av dess höjd.

För att ta reda på vattenståndet under MQ och HQ50 användes HEC-RAS och metodiken finns i 3.2 *HEC-RAS*. Det har även undersökts om gallerhöjden som var i angränsning till vattennivån under HQ50-förhållanden var tillräckligt hög för att förhindra fiskar att hoppa över det under MQ-förhållanden.

3.1.13 Storlek på fångenskap

Det finns ingen självklar information angående storlek på fångenskap per fisk för denna typ av konstruktion då detta är ett nytt system och det mest liknande konstruktionen är fiskodlingar i naturliga vatten. Angående akvarium finns det generella riktlinjer för volym vatten per centimeter fisk men detta är inte aktuellt då ett akvarium är i ett slutet system medan detta system behöver ha ett mått i ett naturligt öppet system. Trots att fiskodlingar är det mest liknande systemet så är det ur odlingssynpunkt och riktlinjer för fiskodlingar varierar mellan olika områden (Europeiska unionen 2020). Att ha samma mått som en fiskodling kan stressa fiskar då en fiskodling vill maximera antalet fiskar per yta för att maximera avkastningen (Animal Welfare Institute 2024) vilket inte går i linje med detta fiskselekteringssystem eftersom syftet är att isolera fiskar under en kort period. Eftersom att ett randvillkor är att undvika stress hos fiskarna i systemet styrker det motiveringen att undvika samma vattenvolym per fisk som en fiskodling använder vilket även går i linje med frågeställning 2.

En reservoar-liknande struktur som finns att utgå ifrån istället för akvarium och fiskodling är fiskbassänger i en fisktrappa (Persson & Leonardsson 2020). Trots att fiskbassängerna i en fisktrappa är avsedd till viloplats för fiskar är detta en bra utgångspunkt då detta ger ett väl

tilltaget mått eftersom att fiskreservoaren enbart kommer förvara fiskar under kortast möjliga period och inte vara en viloplats i strömt vatten under stressiga förhållanden (ibid.).

Riktlinjen för dimensionering av en fiskbassäng i en fisktrappa är att den ska vara 3 gånger fiskens längd och 9 gånger fiskens bredd (Persson & Leonardsson 2020). Djupet i bassängerna är dock något som diskuteras och det sägs att djupet bör vara 5-7,5 gånger fiskens höjd för att uppnå en nivåutjämnande effekt samt för att avbörda tillräckligt mycket vatten. Det nämns även att djupet bör vara ännu djupare då det ger en bättre energidämpning. Innan hänsyn togs till avbördningskapaciteten av vatten och energidämpningen var riktlinjen att djupet skulle vara 2,5 gånger fiskens höjd (ibid.).

Eftersom detta inte är en fiskbassäng i en fisktrappa utan en fiskreservoar som ej behöver optimera energidämpningen bestämdes djupet till 2,5 gånger fiskens höjd. Detta innebär att volymen som varje fisk bestämdes ha i fiskreservoaren baserades på en längd som är 3 gånger fiskens längd, en bredd som är 9 gånger fiskens bredd och ett djup som inte får understiga 2,5 gånger fiskens höjd vilket presenteras som en ekvation, se *Ekvation 9* (ibid.).

$$V = (3 \cdot L) \cdot (9 \cdot B) \cdot (2,5 \cdot H) \quad (9)$$

V står för volymen, L står för fiskens längd, B står för fiskens bredd och H står för höjden av fisken.

Liksom för proportionsberäkningarna av laxen användes två olika beräkningssätt från olika källor för att validera och bekräfta trovärdigheten i resultatet för volymberäkningen. Längden som krävdes i *Ekvation 9* beräknades dels utifrån *Ekvation 2* men också från ett förhållande mellan längden och massan som togs fram i studien av Petrell & Jones (2000), se *Ekvation 10*.

$$M = 0,0154L^{2,94} \quad (10)$$

M står för massa och L står för längd.

Längden på fiskreservoaren fick ett angivet mått utifrån *Ekvation 9* som visar att längden av fisken ska multipliceras med 3 vilket resulterade i att en lax på 1,5 meter behövde ett längdmått på 4,5 meter vilket var den längden fiskreservoaren fick. I slutet av den 4,5 meter långa fiskreservoaren sammankopplades den med det fiskavledande gallret som har en vinkel på 30 grader. Detta betyder att det fiskavledande gallret fungerar både som en vägledning för att leda fiskar in mot fiskselekteringssystemet och som en integrerad konstruktionsdel för fiskreservoaren.

För att bedöma om storleken på fiskreservoaren var rimlig jämfördes volymen som varje fisk besitter i fiskreservoaren, beräknad utifrån en fiskbassäng i en fisktrappa, med ett akvarium och en landbaserad fiskodling för en besättningstäthet med intervallet $15\text{-}25\text{ kg/m}^3$. För den landbaserade fiskodlingen utfördes två beräkningar av volymen vars värden var min- och maxvärdet i intervallet för besättningstätheten och detta för att få en mer rättvis och representabel uppskattning av volymen som varje fisk besitter. En kvadratmeter dividerades med besättningstätheten som sedan dividerades med olika fiskars massa för att få fram volymen som varje fisk besitter med avseende på en specifik vikt, vilket sedan kunde korreleras mot en specifik längd.

Volymen som varje fisk besitter i ett akvarium beräknades med den generella tumregeln som beskrivs i 2.4.7 *Storlek på fångenskap*. Mer specifikt användes värdet 3 i intervallet 2-3 gånger fiskens längd och detta för att ge en så stor vattenvolymen per fisk som möjligt för att göra en rättvis jämförelse mellan en akvarievolum och en fiskbassängsvolum. Eftersom resultatet av beräkningen blev i liter som motsvarar kubikdecimeter, dividerades talet med 1000 för att få svaret i kubikmeter.

För att förenkla jämförelsen mellan volymen för en fiskbassäng i en fisktrappa, som är beroende av fiskens proportion, med volymen som varje fisk besitter i ett akvarium och en fiskodling, antogs det att alla fiskar i systemet har samma proportionerliga form som en lax. Eftersom vattenståndet påverkar volymen i fiskreservoaren användes HEC-RAS för att få fram vattenstånden utifrån olika vattenföringar vars metodik kan ses i 3.2 *HEC-RAS*. För beräkningen av volymen för fiskreservoaren med avseende på olika vattenstånd användes *Ekvation C49* som räknades fram i Bilaga C.5 och som utgår från den minsta geometriska formen på fiskreservoaren i Nybroån som är bestämd utifrån längden på fiskreservoaren och det fiskavledande gallrets vinkel.

Med hjälp av en beräknad vattenvolum per fisk beräknades även det maximala antalet fiskar som bör vistas samtidigt i fiskreservoaren med avseende på längd och med hänsyn till varierande vattenstånd som förändrar fiskreservoarens volym. Antalet fiskar beräknades genom att ta den totala volymen för fiskreservoaren dividerat med volymen som varje fisk bör ha utifrån fiskbassängsmåtten från *Ekvation 9* med avseende på längd.

3.2 HEC-RAS

3.2.1 Batymetrin för Nybroån

Inledningsvis erhöles batymetrin för Nybroån för att möjliggöra simuleringar i HEC-RAS. Data angående batymetrin av Nybroån försökte insamlas genom kontakt med Mark- och miljödomstolen vid Växjö tingsrätt, MSB:s arkiv, markavvattningsföretag och även från privatpersoners uppladdningar av ekolodade områden men utan framgång. Det som sedan valdes mellan var att antingen åka till Nybroån och mäta med GPS eller att uppskatta batymetrin via de bilder som fanns över platsen. Det valdes att analysera bilder som finns på

platsen och inte GPS-mäta på plats eftersom att denna studie har i syfte att få fram en metodik och tillvägagångssätt för uppbyggnaden av ett fiskelekteringssystem och inte utgå ifrån exakta uppmätta värden på en specifik plats. Bilderna som analyserades för att uppskatta djupet i ån presenteras i *Figur 14*.



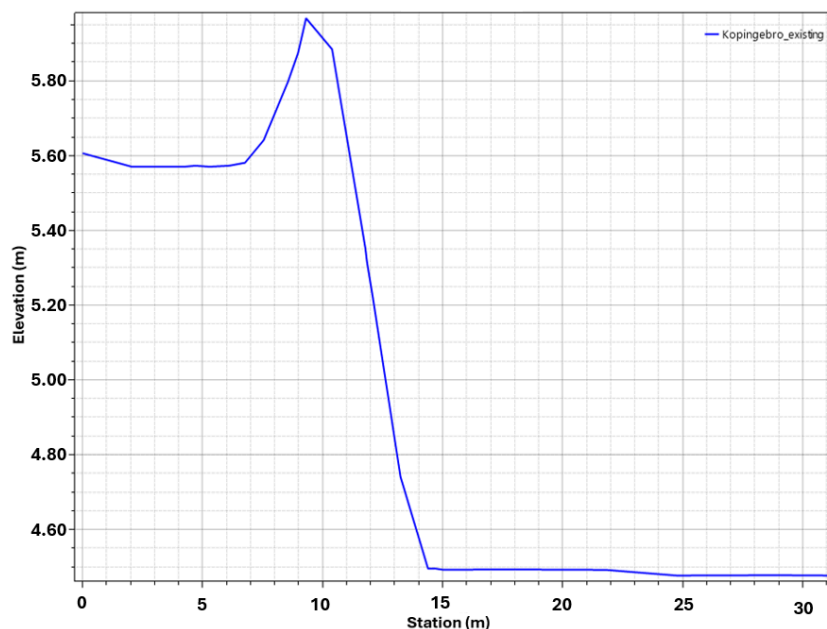
a) Bild tagen nedströms

b) Bild tagen längre nedströms

c) Bild tagen uppifrån

Figur 14. Bilder på fiskräknarstationen i Nybroån, Köpingsbro (Fiskdata u.å.b.).

HEC-RAS användes för att uppskatta djupet av ån som ett komplement till *Figur 14*. Ett tvärsnitt togs fram i HEC-RAS som syns i *Figur 15*. Startpunkten markerades från den högre vattennivån som visas i *Figur 14b* och slutpunkten markerades längre nedströms vilket ger en nivåskillnad som användes som en approximation för höjdskillnaden mellan dammen och vattennivån för det naturliga vattendraget.



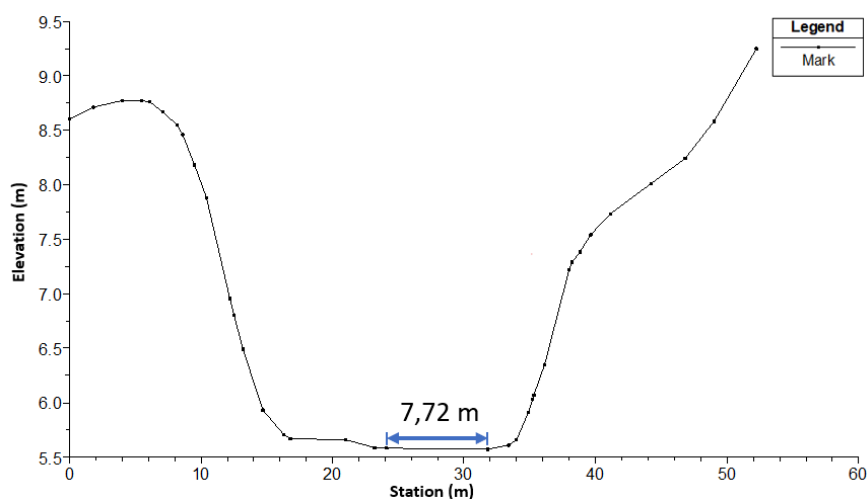
*Figur 15. En skärmdump från HEC-RAS som visar ett tvärsnitt över en sektion av Nybroån som symboliserar höjdskillnaden mellan en högre vattennivå och en lägre vattennivå. Toppen som syns på bilden antogs vara en bro som syns i *Figur 14c*.*

Enligt HEC-RAS är fallhöjden över dammen som kan ses i *Figur 15*, vattenyta till vattenyta cirka en meter och något att ha i åtanke är att detta är för just den dagens vattenföring. Med hjälp av *Figur 14b* uppskattades djupet vara mellan 0,5 och 1 meter nedströms dammen och

det antogs även att botten var horisontell över denna sträcka. Detta gav ett uppskattat djup mellan 1,5 och 2 meter.

För att försöka validera att detta uppskattade djup är tillförlitligt undersöktes *Figur 14a* och genom att anta att fiskräknaren på bilden är cirka $0,5 \times 0,5 \text{ m}$ och utifrån gallerstrukturen uppskattades djupet att vara någonstans mellan 1 och 1,5 meter men även här är vattenföringen i ån okänt. En ytterligare analys över djupet på ån gjordes med hjälp av bakgrundsinformation om platsen som fanns på Fiskdata (u.å.b.) där det framgick att fiskräknaren (inte den nuvarande AI-fiskräknaren från TiVA) invigdes den 16 oktober 2013 och genom vidare analys av *Figur 14a* sågs det att växtligheten i bakgrunden hade gulnade löv vilket indikerar att det kan vara den månaden som bilden var tagen på. Att bilden är tagen på invigningsdagen är ett starkt antagande och vattenföringen den dagen enligt S-HYPE är närmare MLQ än MQ medan några dagar senare var flödet över MQ, se Bilaga E.2. För att ta alla analyser i beaktning och inte göra ett för stort antagande genom att använda vattenflödet från S-HYPE den 16:e oktober antogs det att vattendjupet var 1,5 meter och att det var medelvattenföring (MQ) när bilden togs.

Eftersom det inte fanns någon data för djupet av ån så finns det inte heller någon data för bredden av ån. På liknande sätt som för djupet gjordes en uppskattning av åns bredd med hjälp av figuranalyser och HEC-RAS. Utifrån *Figur 14c* uppskattades bredden att vara mellan fem och åtta meter men för att få en bättre uppskattning användes HEC-RAS där ett tvärsnitt drogs över bredden av ån. Med hjälp av höjddatan sågs det att topografin har ett horisontellt parti vid åfåran vilket antogs vara vattenytan på grund av den horisontella topografin. Se *Figur 16* för det distinkta horisontella parti som antogs vara vattenytan.



Figur 16. En skärmdump från ett tvärsnitt i HEC-RAS som visar ett horisontellt område som antogs vara vattenytan och som har bredden 7,72 meter.

Vid sektionen där topografin är helt horisontellt fördes ett djup på 1,5 meter in. Detta innebär att batymetrin erhöll en kvadratisk form med en bredd på 7,72 meter och ett djup på 1,5 meter.

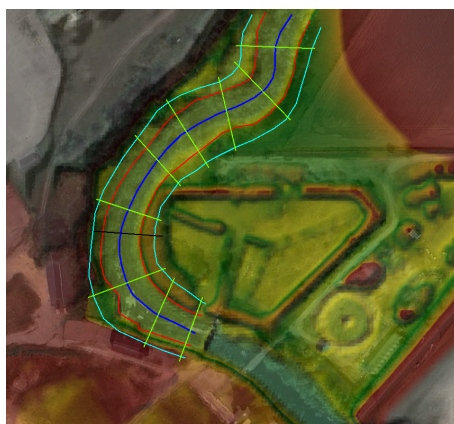
MQ simulerades sedan för bekräfta att den specificerade batymetrin var rätt antagen vilket skulle resultera i att vattennivån skulle uppgå till 1,5 meter från botten.

För att bedöma fiskselekteringssystemets position i vattenmassan är det väsentligt att veta om installationen ska se i en rak eller svängd del i ett vattendrag. Fiskräknaren ser ut att vara placerad på vänsterkanten i en högersväng enligt *Figur 14c* vilket innebär att fiskselekteringssystemet behöver anpassas efter en högersvängt vilket inte är något problem. Enda skillnaden mellan ett rakt och ett svängt system är att svängen inte bör överstiga 45 grader enligt 2.4.3 *Maximal svängvinkel* annars är det samma uppbyggnad som ett rakt system. Trots att metodiken är densamma bestämdes det ändå att fiskselekteringssystemet skulle byggas som ett rakt system i denna å. Fokus för uppbyggnaden av fiskselekteringssystemet är inte detaljerna och specialanpassningarna utan att få en uppfattning om hur processen går till i en särskild å och vad som behöver utföras innan installationen av fiskselekteringssystemet.

3.2.2 Arbete i HEC-RAS

Det som gjordes i HEC-RAS i denna studie var att ta reda på vattenståndet som behövdes för höjdpotitionering av fiskselekteringssystemet, höjden på gallret samt volymberäkningar av fiskreservoaren som användes vid jämförandet mellan olika fiskreservoarstyper och bestämmandet av antalet fiskar som bör vistas i fiskreservoaren samtidigt. Utifrån vattenståndet kunde även flödes hastigheten erhållas som behövdes för beräkning av fallförlusten vid gallret under olika vattenföringar.

I HEC-RAS ritades ån mitt i åfåran som syns från flygradarn med en längre sträcka än vad som skulle studeras så att systemet blir så representativt och sannolik som möjligt och för att undvika felkällor som kan uppstå vid en kort ritad sträcka. Banklines och Flow paths drogs utanför ån följt av tvärsektioner som manuellt justerades för att få den uppskattade batymetrin som togs fram i 3.2.1 *Batymetrin för Nybroån*. Se *Figur 17* för att få en visuell bild av ritningen i HEC-RAS.



Figur 17. En skärmdump från HEC-RAS där den blåa linjen symboliserar ån, de röda strecken är banklinjerna, de ljusblåa linjerna är flödesriktningslinjerna, de gröna strecken är tvärsektioner och det svarta strecket är var fiskselekteringssystemet placerades.

Vattenföringsdata för Nybroån som användes som inmatningsparameter hämtades från S-HYPE som tillhandahöll vattenföringar för MLQ, MQ, MHQ, HQ2, HQ5, HQ10, HQ25 och HQ50. Bottenlutningen av vattendraget ("Normal depth" i HEC-RAS) valdes som utmatningsparametern och antogs ha samma bottenlutning som höjdskillnaden i vattennivån över sträckan. Höjdskillnaden i vattennivån över sträckan togs fram genom att använda ett mätverktyg i RAS-mapper i HEC-RAS som beskriver höjden vid första tvärsnittet och sista tvärsnittet och längden mellan dessa sträckor. Med hjälp av denna information beräknade HEC-RAS lutningen genom att ta differensen av höjden från uppströms tvärsnitt till nedströms tvärsnitt dividerat med differensen i längd från uppströms tvärsnitt till nedströms tvärsnitt.

Utifrån *Figur 14c* verkar det vara mycket vassiga avsnitt med en god beskaffenhet på ytan vilket enligt Manningstalstabellen i Bilaga D.1 motsvarar ett Mannings tal på 10 men eftersom HEC-RAS vill ha en inmatningsparameter som är ett dividerat på Mannings tal för naturliga hinder och skrovligheter blir Mannings tal i HEC-RAS 0,1 vilket är det värde som sattes vid alla tvärsektioner. Efter införda in- och utmatningsparametrar utfördes simuleringen. Simulering gjordes med steady flow-verktyget i HEC-RAS som skapade en endimensionell modell av det ritade systemet med ett givet vattenstånd för respektive vattenföring.

Resultatet från vattenståndet användes för att bestämma flödeshastigheten för olika vattenstånd med hjälp av ett verktyg i HEC-RAS som möjliggör att flödeshastigheten presenteras som kvadratiska områden (på grund av endimensionell modellering) i ett tvärsnitt där fiskselekteringssystemet ska placeras för respektive vattenstånd. Resultaten av flödeshastigheten för respektive vattenstånd användes sedan i *Ekvation 8* för beräkningen av fallförlusten.

3.3 Civil 3D (CAD)

Fiskselekteringsystemet illustrerades i programmet Civil 3D. Programmet är ett CAD-program som enligt företagets egen mening är en "*Omfattande programvara för detaljerad design och dokumentation för mark-, väg- och VA-infrastruktur*" (Autodesk u.å.). Civil 3D är kompatibelt med andra program som innebär att överföring av data och programfiler är möjligt. Civilingenjörer och designers för infrastruktur inom mark, väg samt vatten och avlopp (VA) är vanliga användare av Civil 3D för att få en visuell förståelse över ett projekt (ibid.).

3.3.1 Arbete i Civil 3D (CAD)

Koordinatsystemet för planet sattes till SWEREF 99 TM och ett ortofoto från lantmäteriet användes som bakgrundskarta. Terrängmodellen från HEC-RAS importerades vilket inkluderar de batymetriska korrigeringsarna av tvärsnittssektionerna så att en form på vattendraget erhöles. Eftersom tvärsektionerna har ganska långa mellanrum som kan ses i *Figur 17* interpolerades mellanrummen mellan tvärsnitten i HEC-RAS innan tvärsnitten

importerades till Civil 3D och detta för att få en bättre uppskattad batymetrisk form längs hela botten. Efter all bakgrundsdata hade implementerats ritades sedan fiskselekteringssystemet upp vid den tänkta platsen i vattendraget skalenligt för att visa vilket vattenanspråk konstruktionen har i vattendraget.

3.4 Lagar

Konstruktionen av fiskselekteringssystemet klassas som en vattenverksamhet och vattenanläggning enligt kap. 11 §3 och §4 i miljöbalken (1988:808) som betyder att lagar och riktlinjer för de båda juridiska benämningarna behöver följas vid en praktisk installation av systemet. Enligt kap. 11 §12 i miljöbalken (1998:808) framgår det att tillstånd inte behövs för vattenverksamheter som uppenbart inte skadar allmänna eller enskilda intressen till följd av inverkan på vattenförhållanden. Eftersom inverkan på vattenförhållanden varierar mellan miljöer och omständigheter bedömdes det att tillstånd alltid bör sökas eftersom att det får göras enligt kap. 11 §9 i miljöbalken (1988:808). Även om verksamheten inte är tillståndspliktig bedömdes det som en relevant utgångspunkt då det är ett sätt att säkerställa att alla krav uppfylls.

4 Resultat

För att få ett teoretiskt färdigställt resultat har Nybroån i Köpingsbro använts som exempelplats för de anpassningsbara delarna av fiskselekteringssystemet. I slutet av resultatdelen ges en översiktlig skalenlig bild på fiskselekteringssystemet som är teoretiskt applicerad i Nybroån med hjälp av ritprogrammet Civil 3D (CAD).

Beräkningarna som har gjorts ligger i bilagan för att hålla resultatdelen kort och koncis. Beräkningarna i bilagan är tydligt förklarade så att förståelsen för beräkningarna och ekvationerna kan följas på ett lätt sätt.

4.1 Modellering i HEC-RAS

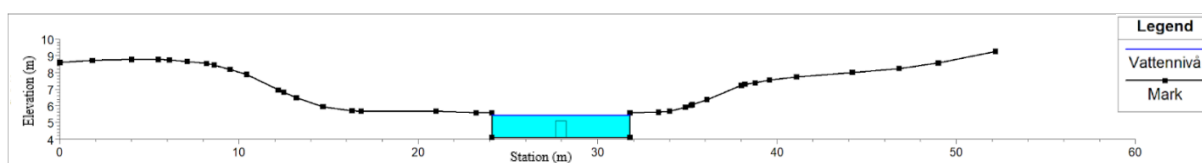
4.1.1 Batymetrisk data

I 3.2 *HEC-RAS* presenteras det hur parametrarna togs fram för att kunna göra en vattenståndssimulering i Nybroån som användes för att bedöma fiskselekteringssystemets höjdposition, gallerhöjden samt fallförlusten vid gallret. Som en initial inmatningsparameter valdes MQ för att kunna bekräfta att vattenhöjden är 1,5 meter från botten som var antagandet för djupet innan de andra vattenföringarna användes som inmatningsparametrar. Värden för respektive parameter som användes i HEC-RAS kan ses i *Tabell 3*.

Tabell 3. Parametrarna som användes i HEC-RAS för att bedöma rimligheten av den antagna batymetrin i Nybroån, Köpingsbro som baserades på bildanalyser av platsen. Inmatningsparametern var MQ som antogs representera vattenföringen vid tidpunkten när bilderna togs.

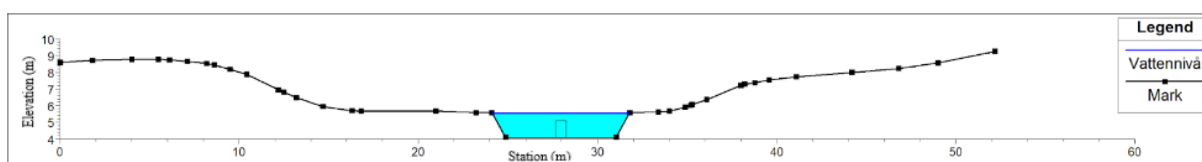
HEC-RAS Parametrar	Inmatningsparameter (MQ) (m^3/s)	Utmatningsparameter (m)	Djup (m)	Bredd (m)	Mannings tal
Värden	2,41	0,00045	1,5	7,72	0,1

Med antagandet att vattendraget hade en rektangulär form med en bredd på 7,72 meter och ett djup på 1,5 meter resulterade det i att vattennivån för Nybroån var 1,35 meter från botten, se *Figur 18*.



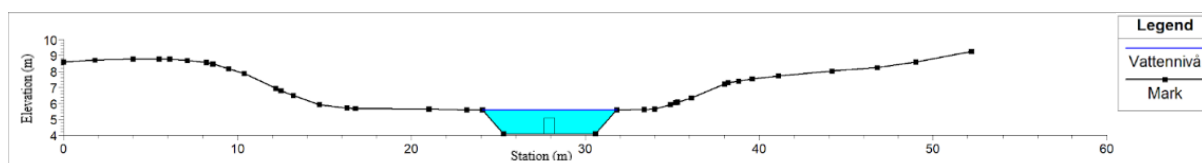
Figur 18. Ett uppskattat tvärsnitt av Nybroån i Köpingsbro som har reviderats och tillagt en 1,5 meters djup fyrkantig fåra där topografin var horisontell. Vattennivån är 1,35 meter från botten.

Resultatet från *Figur 18* presenterar att vattennivån är 1,35 och inte 1,5 meter som var det förväntade värdet. Efter erhållet resultat antogs en ny batymetrisk form utifrån matematiska beräkningar med hjälp av de fixerade måtten att bredden och djupet av vattendraget var 7,72 meter respektive 1,5 meter. De matematiska beräkningarna resulterade i en bottenbredd på 6,16 meter vilket skulle möjliggöra att volymen skulle uppnå ett vattenstånd på 1,5 meter men som istället resulterade i en vattennivå på 1,43 meter, se *Figur 19*. För matematiska beräkningar, se Bilaga C.1.



Figur 19. Ett uppskattat tvärsnitt av Nybroån i Köpingsbro med en konformad lutning. Vattennivån är 1,43 meter från botten.

Resultatet från *Figur 19* presenterar att vattennivån är 1,43 och inte 1,5 meter som var det förväntade värdet. Efter erhållet resultat antogs en ny batymetrisk form utifrån att botten korrigerades manuellt och efter denna ändring framgick det att bottenbredden behövde vara 5,28 meter för att få ett vattenstånd på 1,5 meter från botten.

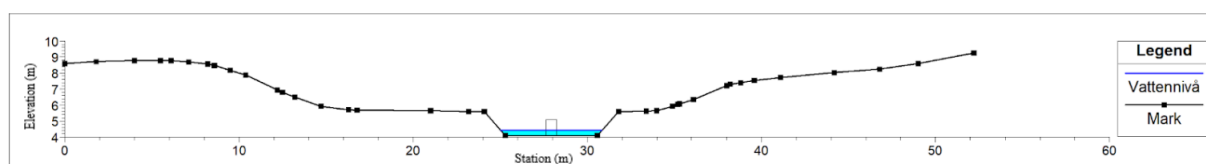


Figur 20. Ett uppskattat tvärsnitt av Nybroån i Köpingsbro med en konformad lutning. Vattennivån är 1,5 meter från botten.

4.1.2 Höjdpositionering av fiskselekteringssystemet

Vattenståndet är avgörande för bestämmandet av fiskselekteringssystemets höjdposition i vattenmassan, gallerhöjden och för att få fram vattenhastigheten som används till beräkning av fallförlusten. Resultattolkningen för bestämmandet av fiskselekteringssystemets höjdposition presenteras i detta avsnitt medan resultattolkningen av gallerhöjden och vattenhastigheten presenteras i 4.1.3 *Gallerhöjden* respektive 4.1.4 *Fallförlusten vid gallret*. Den batymetriska formen som presenteras i *Figur 20* användes i HEC-RAS för att simulera olika vattenstånd.

I *Figur 21* syns det att vattenståndet under MLQ-förhållande är lägre än gångens höjd vilket gjorde det oundvikligt att positionera fiskselekteringssystemet på botten trots risk för ackumulation av sediment i gången.



Figur 21. Vattenståndet vid ett uppskattat tvärsnitt av Nybroån i Köpingsbro under MLQ-förhållande där fiskselekteringssystemet teoretiskt installerades som resulterade i en vattenhöjd på 0,338 meter. Den rektangulära formen i mitten symboliserar gången i fiskselekteringssystemet med ungefärliga proportioner mellan djup och bredd.

4.1.3 Gallerhöjden

Under HQ50-förhållanden behöver gallerhöjden vara 4,0 meter för att vara ett simhinder medan den endast behöver vara 2,7 meter för att undvika överhopp under MQ-förhållanden, se *Tabell 4*. Detta innebär att en gallerhöjd upp till vattenytan under HQ50 är tillräckligt högt för att både vara ett simskydd under HQ50-förhållanden och ett hoppskydd under MQ-förhållanden. För en visuell presentation av de olika vattenstånden, se Bilaga A.1.

Tabell 4. Varierande gallerhöjder utifrån olika vattenföringar.

Olika Vattenföringar	Vattenföring (m^3/s)	Vattenstånd (m)	Total gallerhöjd från botten för att hindra överhopp (m)
MQ	2,41	1,5	2,7
HQ50	26,6	4,0	7,3

4.1.4 Fallförlusten vid gallret

Flödeshastigheten för olika vattenföringar där fiskselekteringssystemet valts att placeras hämtades från HEC-RAS-simuleringen. Med hjälp av insamlad flödeshastighet från HEC-RAS för respektive vattenföring och värden från *Tabell 2* beräknades fallförlusten för de olika vattenföringarna med hjälp av *Ekvation 8*, vars resultat sammanfattas i *Tabell 5*. För en visuell presentation av de olika flödeshastigheterna, se Bilaga A.2.

Tabell 5. En sammanställning av flödeshastigheter för olika vattenföringar med hjälp av HEC-RAS-simulering där fiskselekteringssystem valts att placeras i Nybroån, Köpingsbro. Med informationen om flödeshastigheter och andra givna värden från *Tabell 2* för respektive vattenföring beräknades fallförlust för ett hydrauliskt fingaller som teoretiskt installerades i Nybroån, Köpingsbro med hjälp av en fallförlustekvationen som beskrivs i *Ekvation 8*.

Olika Vattenföringar	Vattenföring (m^3/s)	Flödeshastighet (m/s)	Fallförlust vid gallret (m)
MLQ	0,19	0,11	0,00018
MQ	2,41	0,28	0,0011
MHQ	15,7	0,43	0,0027
HQ2	15,1	0,42	0,0026
HQ5	18,7	0,45	0,003
HQ10	21,2	0,47	0,0032
HQ25	24,3	0,49	0,0035
HQ50	26,6	0,50	0,0037

Som kan ses i *Tabell 5* är fallförlusten cirka 0,2 mm under MLQ och cirka 3,7 mm under HQ50 vilket ansågs vara försumbart i sammanhanget. Utifrån resultatet i *Tabell 5* bedömdes det att fiskgallret kunde utformas enligt de tekniska specifikationerna i *Tabell 2* från metodavsnittet *3.1.11 Fiskanpassat gallret*.

4.2 Största fisken i systemet

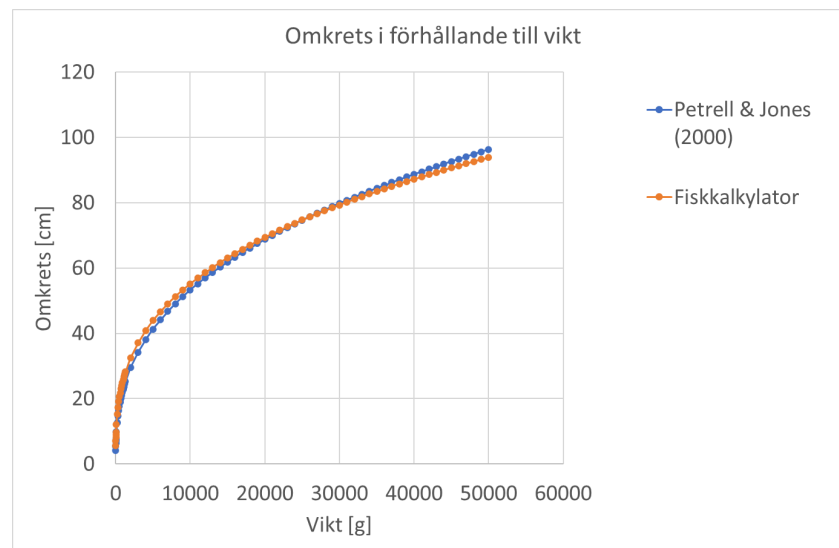
Konstruktionen av fiskselekteringssystemet utgår ifrån den största fisken i systemet. Här ansågs laxen vara den största fisken. Värdena för både omkretsen och höjden av en lax som är 1,5 meter och väger 50 kg presenteras i *Tabell 6*. För mer detaljerad beräkning av laxens omkrets och höjd, se Bilaga C.2 respektive C.3.

Tabell 6. Omkrets och höjd för en lax utifrån olika beräkningsmetoder. Strecket symboliserar att inget värde införskaffades från källan för respektive rad.

Källa	Omkrets	Höjd
Ekvationen från studien av Petrell & Jones (2000)	96 cm	40 cm
Fiskkalkylatorekvationen	97 cm	-
Ramanujans approximativa ellipsekvation	-	40 cm

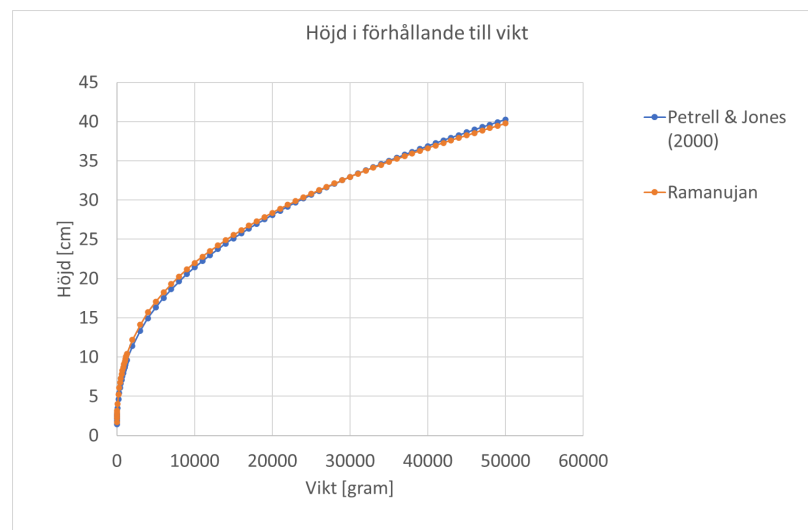
Att fiskens omkrets, höjd, bredd och längd blev samma oberoende av vilken beräkningsmetod som användes, och att detta inte var en slump, kunde bekräftas med hjälp av *Figur 22-25*.

Omkretsen i förhållande till vikten såg ut att korrelera bra mellan ekvationen från studien av Petrell & Jones (2000) och fiskkalkylatorekvationen, se *Figur 22*.



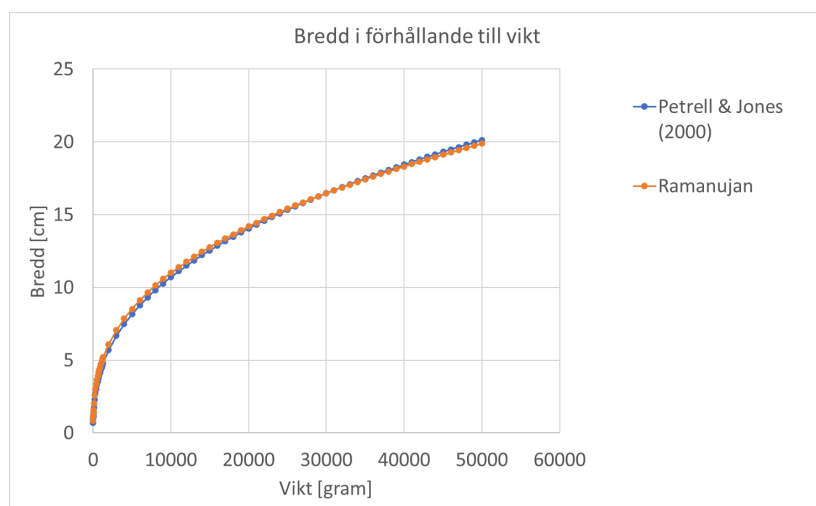
Figur 22. Omkretsen i förhållande till vikten för en lax (salmo salar) beräknades med en ekvation från studien av Petrell & Jones (2000) och från en fiskkalkylatorekvation.

Höjden i förhållande till vikten såg ut att korrelera bra mellan ekvationen från studien av Petrell & Jones (2000) och Ramanujans approximativa ellipsekvation, se *Figur 23*.



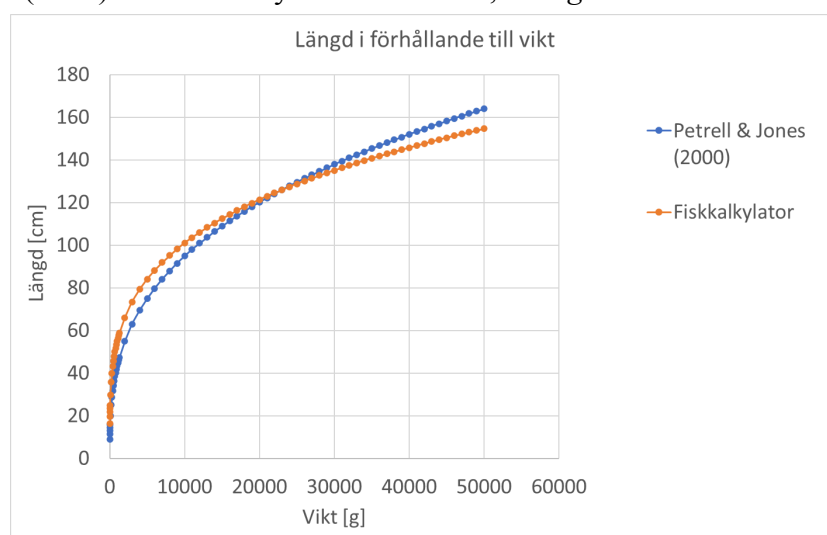
Figur 23. Höjden i förhållande till vikten för en lax (salmo salar) beräknades med en ekvation från studien av Petrell & Jones (2000) och från Ramanujans approximativa ellipsekvation.

Bredden i förhållande till vikten korrelerar på samma sätt som höjden i förhållande till vikten eftersom att bredden har antagits att vara hälften av höjden vilket endast ger en halvering av y-axeln, se *Figur 24*.



Figur 24. Bredden i förhållande till vikten för en lax (*salmo salar*) beräknades med en ekvation från studien av Petrell & Jones (2000) och från Ramanujans approximativa ellipsekvation.

Längden i förhållande till vikten såg ut att korrelera bra mellan ekvationen från studien av Petrell & Jones (2000) och fiskkalkylatorekvationen, se Figur 25.



Figur 25. Längden i förhållande till vikten för en lax (*salmo salar*) beräknades med en ekvation från studien av Petrell & Jones (2000) och från en fiskkalkylatorekvation.

De visuella sambanden som visas i Figur 22-24 mellan de olika beräkningssätten ansågs vara tillräckligt tydliga för att bedöma att de uträknade värdena i Tabell 6 var rimliga att utgå från. Detta innebar att fiskselekteringssystemet utformades efter en lax på 1,5 meter med en vikt på 50 kg, en höjd på 40 cm och en bredd på 20 cm. Sambandet som syns i Figur 25 ansågs vara tillräckligt tydligt vilket ledde till att ett medelvärde av längderna skapades som sedan användes för att presentera fiskreservoarens volym med avseende på fiskars längd, se 4.7.1 Vattenvolym per fisk.

4.3 Dimensionering av gången och AI-fiskräknaren

Utifrån Ekvation 6 och 7 behöver en 1,5 meters lax som har en höjd på 40 cm och en bredd på 20 cm en gång med ett djup på 1 meter och en bredd på 0,6 meter. Dessa mått resulterade

även i att AI-fiskräknaren valdes att anta den största dimensionen med en längd på 1,4 meter och en dimension på 0,5 x 0,5 m. AI-fiskräknaren antog en mindre dimension än gången och anledningen till detta är på grund av de fasta måtten som AI-räknaren har. Trots detta är det ingen begränsning för fiskselekteringssystemet eftersom AI-fiskräknaren är 1,4 meter lång och enligt 2.4.1 Dimension för en kulvert / "gång" är en mindre dimensioneringen acceptabel vid kortare sektioner.

4.4 Formen på gången

Förhållandet mellan omkretsen och tvärsnittsarean presenteras i *Tabell 7* där x symboliserar djupet för den kvadratiske gången och diametern för den cylindriska gången medan y symboliserar bredden av den kvadratiske gången.

Med avseende på dessa mått kan gången antingen vara en stor rund kulvert med en meter i diameter (vilket blir en tilltagen bredd då det endast krävdes 0,6 meter) eller en fyrkantig profil med ett djup på en meter och en bredd på 0,6 meter. Förhållandet mellan djupet, x och bredden, y för den största potentiella laxen i systemet beräknades till ett förhållande på 1,67 och enligt rad 5 i *Tabell 7* visar det att den cylindriska formen har större tvärsnittsarea trots mindre materialåtgång gentemot en kvadratisk form för detta förhållande. Beräkningar för intervallen och förhållandet för den största potentiella laxen i systemet finns i Bilaga C.4.

Tabell 7. Förhållande mellan tvärsnittsarea och omkrets utifrån olika scenarier. x symboliserar djupet för den kvadratiske gången och diametern för den cylindriska gången medan y symboliserar bredden av den kvadratiske gången.

Rad		Resultat	
0	Scenarier (1-5)	Cylindrisk form	Kvadratisk form
1	$\frac{x}{y} < 1,27$	Mindre tvärsnittsarea	Större tvärsnittsarea
2	$\frac{x}{y} > 1,75$	Större materialåtgång	Mindre materialåtgång
3	$\frac{x}{y} > 1,27$	Större tvärsnittsarea	Mindre tvärsnittsarea
4	$1,27 < \frac{x}{y} < 1,75$	Mindre materialåtgång	Större materialåtgång
5	$1,27 < \frac{x}{y} < 1,75$	Större tvärsnittsarea trots mindre materialåtgång	Större materialåtgång trots mindre tvärsnittsarea

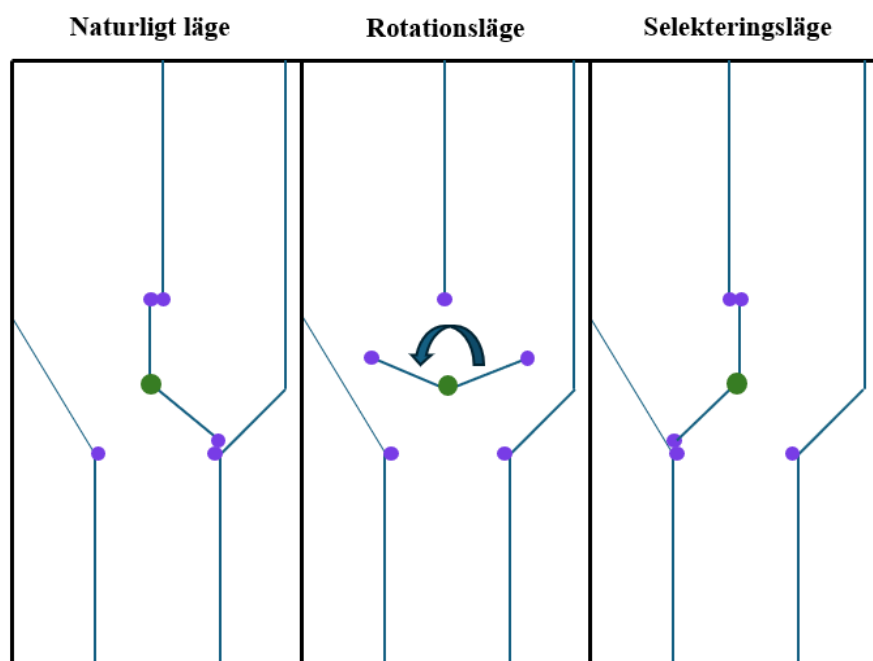
I Bilaga C.4 syns det även att proportionerna mellan djup och bredd för gången är ett universellt samband på grund av laxens antagna proportioner, att höjden och bredden förhåller sig 2:1. Om andra fiskar har andra kroppsliga proportioner och andra krav på djup och bredd kan materialåtgången och tvärsnittsarean se annorlunda ut. Trots andra förhållanden mellan fiskens höjd och bredd samt andra manövreringsbehov kan sambanden mellan omkrets och tvärsnittsarea som presenteras i *Tabell 7* fortfarande användas.

Förutom att den cirkulära kulverten har mindre materialåtgång trots en större tvärsnittsarea gentemot en kvadratisk kulvert för en dimensionering utefter den största potentiella laxen i systemet och har ytterligare fördelar som presenteras i 2.4.1 *Dimension för en kulvert / "gång"* valdes det ändå att använda en kvadratisk form på gången. Anledningen till detta val är på grund av svårigheten med kopplingsanordningen mellan en kvadratisk form (AI-fiskräknaren) och en cylindrisk form (gången). Kopplingsanordningar mellan olika former är ofta specialanpassade och kan vara svåra att hitta för den aktuella storleken. Installationen är lättare med en rektangulär form eftersom en rektangulär konform kan svetsas på vid skarven mellan AI-fiskräknaren och gången.

Valet av den kvadratiske formen innebar att problemet med ljusinsläpp som nämnts i 2.4.1 *Dimension för en kulvert / "gång"* löstes. Ovansidan av gången ersattes med ett fiskanpassat galler som presenteras i avsnitt 3.1.11 *Fiskanpassat galler* med öglorna riktade nedåt mot fiskarna så att fiskarna inte skadar sig samt att metallstängerna valdes att ligga i gångens längsriktning. Gallret valdes att även vara öppningsbart med hjälp av gångjärn så att rensningen av skräp i gången och AI-fiskräknaren blir enkelt.

4.5 Selektionsmekanism

En schematisk illustration på klaffdörrens vridning från ett naturligt läge till ett selektionsläge med hjälp av en stegmotor kan ses i *Figur 26*. Figuren illustrerar också att det inte är en tvär 45 graders sväng ut i det naturliga vattendraget och heller inte en tvär 30 graders sväng in mot fiskreservoaren, som förklarades i 3.1.8 *Maximal svängvinkel*.



Figur 26. En schematisk bild som beskriver klaffdörrens rotationsmekanism där den gröna pricken i mitten är rotationsaxeln där stegmotorn sitter och dem lila prickarna är gummikanter som dämpar och stoppar klaffdörrens rotation.

4.6 Enkelriktat system

Ryssjan som är den sista delen innan fiskreservoaren i fiskselekteringssystemet bestämdes att ha samma proportioner som gången med ett djup på 1 meter och en bredd på 0,6 meter. Anledningen till att ryssjans mått valdes till samma som gångens är eftersom gångens dimension baserades utifrån riktlinjer som tar hänsyn till fiskars manövreringsutrymme.

4.7 Storlek på fiskreservoar

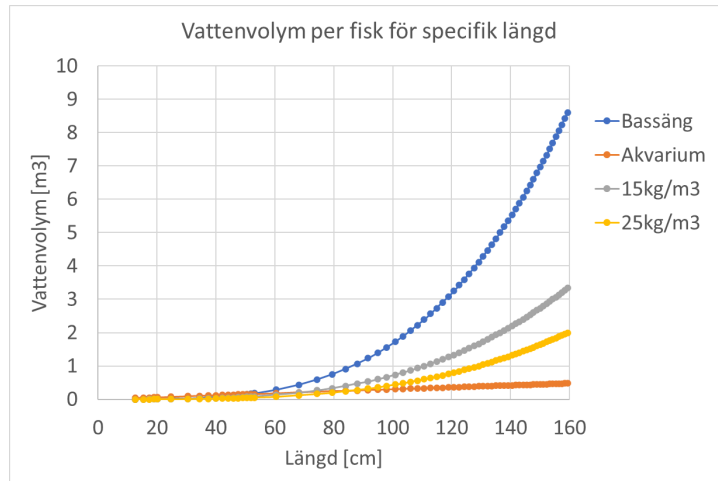
Vattenvolymen i fiskreservoaren beräknades ligga mellan 6 och 72 kubikmeter beroende på vattenföring i Nybroån, se *Tabell 8*.

Tabell 8. Volymen med den minsta möjliga storleken på fiskreservoaren utifrån randvillkoren på gallrets vinkel och längden på reservoaren för olika vattenföringar. Fiskreservoaren delades upp i två geometriska former för lättare beräkning vilket presenteras som "rektangel" och "triangel" vars längd- och breddmått också presenteras.

Olika Vattenföringar	Vattenföring (m^3/s)	Djup (m)	Längd Rektangel (m)	Längd Triangel (m)	Bredd (m)	Volym (m^3)
HQ50	26,6	4,04	4,5	4,6	2,64	72
HQ25	24,3	3,91	4,5	4,6	2,64	70
HQ10	21,2	3,71	4,5	4,6	2,64	66
HQ5	18,7	3,53	4,5	4,6	2,64	63
HQ2	15,1	3,26	4,5	4,6	2,64	58
MHQ	15,7	3,31	4,5	4,6	2,64	59
MQ	2,41	1,5	4,5	4,6	2,64	27
MLQ	0,19	0,338	4,5	4,6	2,64	6

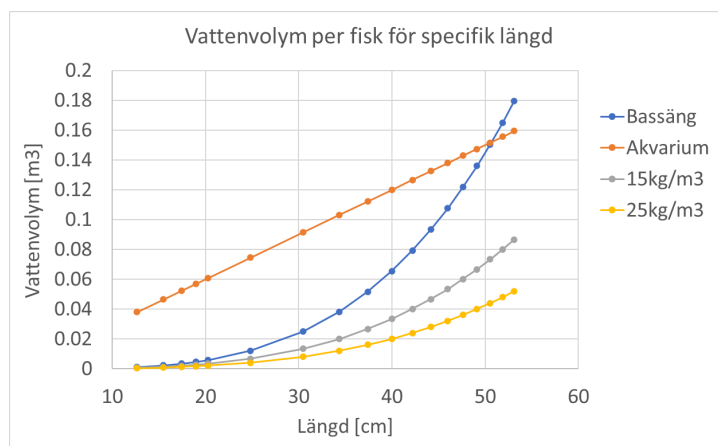
4.7.1 Vattenvolym per fisk

För att kunna bedöma om en fiskbassäng i en fisktrappa hade rimliga volymmått per fisk gentemot ett akvarium eller fiskodlingbassäng var det nödvändigt att ta fram en figur som presenterar dessa samband, se *Figur 27*.



Figur 27. Riktlinjer för vattenvolymen som varje fisk besitter i en fiskbassäng i en fisktrappa, ett akvarium och en fiskodling med olika besättningstätheter med avseende på fiskens längd.

För att få mer information om hur datapunkterna trendar vid låga värden gjordes en omskalning av x-axeln för att få en bättre upplösning för kortare längder vilket visas i Figur 28.

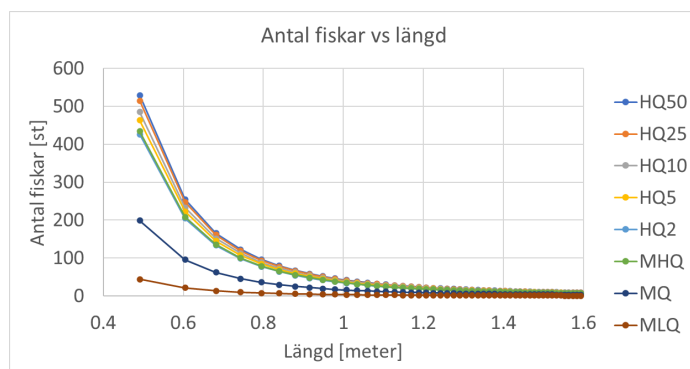


Figur 28. Riktlinjer för vattenvolymen som varje fisk besitter i en fiskbassäng i en fisktrappa, ett akvarium och en fiskodling med olika besättningstätheter med avseende på fiskens längd.

I Figur 28 syns det att fiskar med en längd på mindre än cirka 50 cm har större vattenvolym i ett akvarium än i en fiskbassäng i en fisktrappa vilket också betyder att en fisk över dessa mått har större vattenvolym i en fiskbassäng gentemot ett akvarium. Det konstaterades också att en fiskodling med en besättningstäthet på 15kg/m^3 och 25kg/m^3 har betydligt lägre vattenvolym per fisk i jämförande med fiskbassängen och denna skillnad ökar för större fiskar. Utifrån Figur 27 & 28 konstaterades det att en volym för en fiskreservoar som är baserat utifrån mått från en fiskbassäng i en fisktrappa ger en stor volym för fiskar längre än 50 cm gentemot vattenvolymen i en fiskodling och akvarium vilket innebär att måtten för en fiskbassäng i en fisktrappa valdes att användas i fiskreservoaren.

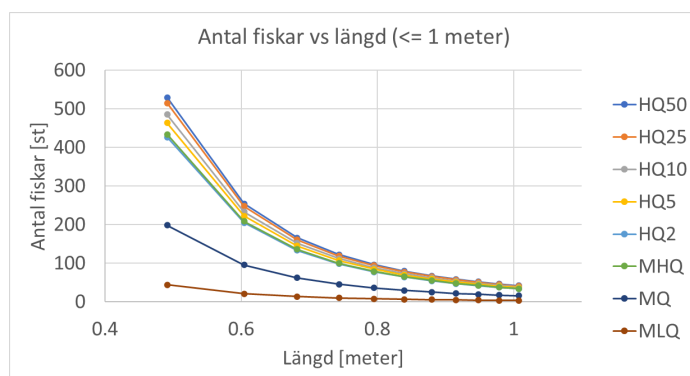
4.7.2 Antalet fiskar i reservoaren

Utifrån resultatet att varje fisk besitter en volym baserat på riktlinjer från en fiskbassäng i en fisktrappa beräknades det hur många fiskar som bör vistas i fiskreservoaren samtidigt med avseende på längd, se *Figur 29*. Detta var nödvändigt att göras för att uppfylla kraven i frågeställning 2.



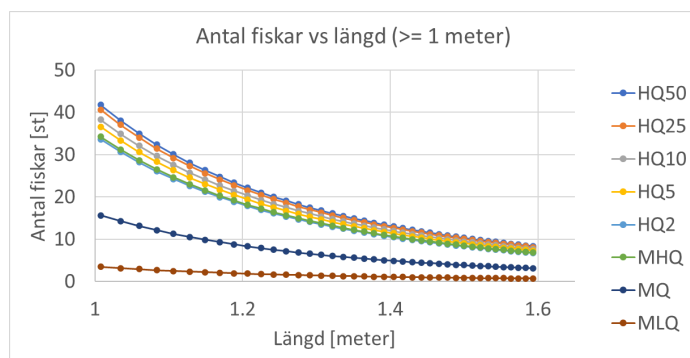
Figur 29. Maxantalet fiskar som bör förvaras samtidigt i fiskreservoaren under olika vattenföringar utifrån framtagna riktlinjer.

En omskalning av x-axeln gjordes för att få en bättre upplösning för mindre längder, se *Figur 30*.



Figur 30. Maxantalet fiskar som bör förvaras samtidigt i fiskreservoaren under olika vattenföringar utifrån framtagna riktlinjer.

En omskalning av x-axeln gjordes för att få en bättre upplösning för större längder, se *Figur 31*.



Figur 31. Maxantalet fiskar som bör förvaras samtidigt i fiskreservoaren under olika vattenföringar utifrån framtagna riktlinjer.

4.8 Approximativ kostnad för fiskselekteringssystemet

Genom konsulterande om kostnadsförslag och jämförelser av priser har approximativa kostnader tagits fram för alla konstruktionsdelar i fiskselekteringssystemet.

4.8.1 TiVA:s AI-fiskräknare

Ett ungefärligt pris på en AI-fiskräknare av TiVA uppgick till cirka 450 000 kr (TiVA 2023c).

4.8.2 Gången

Gången valdes att ha samma rostfria stålqualität som AI-fiskräknaren vilket är SS2333 (TiVA u.å.) som har goda svetsmöjligheter vilket är väsentligt för kopplingsanordningen (Askims Rostfria Stål u.å.). Med en vikt på cirka ett ton beräknades priset bli cirka 70 000 kr baserat på priset för SS2333-stål som var 70 kr/kg enligt Stena Stål (2024). För beräkning av det uppskattade priset, se Bilaga C.6.

4.8.3 Klaffdörren

En stegmotor med en kapacitet på 11 Nm och 21 Nm uppskattades kosta cirka 2 000 kr respektive cirka 3 500 kr (Transmotec 2024).

4.8.4 Sensorn

En hydroakustisk sensor inklusive en signalbehandlare uppskattades kosta cirka 50 000 kr efter jämförande med olika typer av hydroakustiska sensorer.

4.8.5 Ryssjan

En ryssja med ett djup på 1 meter och en bredd på 0,6 meter uppskattas kosta cirka 5000 kr efter jämförande med ryssjor av olika storlekar och längder.

4.8.6 Fiskgallret

Efter konsultering med Fiskevårdsteknik AB uppskattades ett schablonpris för ett hydrauliskt fingaller till cirka $10\,000\text{ kr/m}^2$. Genom en framtagande area på 210m^2 resulterade detta i en total kostnad på 2 100 000 kr. För en beskrivning av beräkningen för det uppskattade priset, se Bilaga C.7.

4.8.7 Totalkostnad

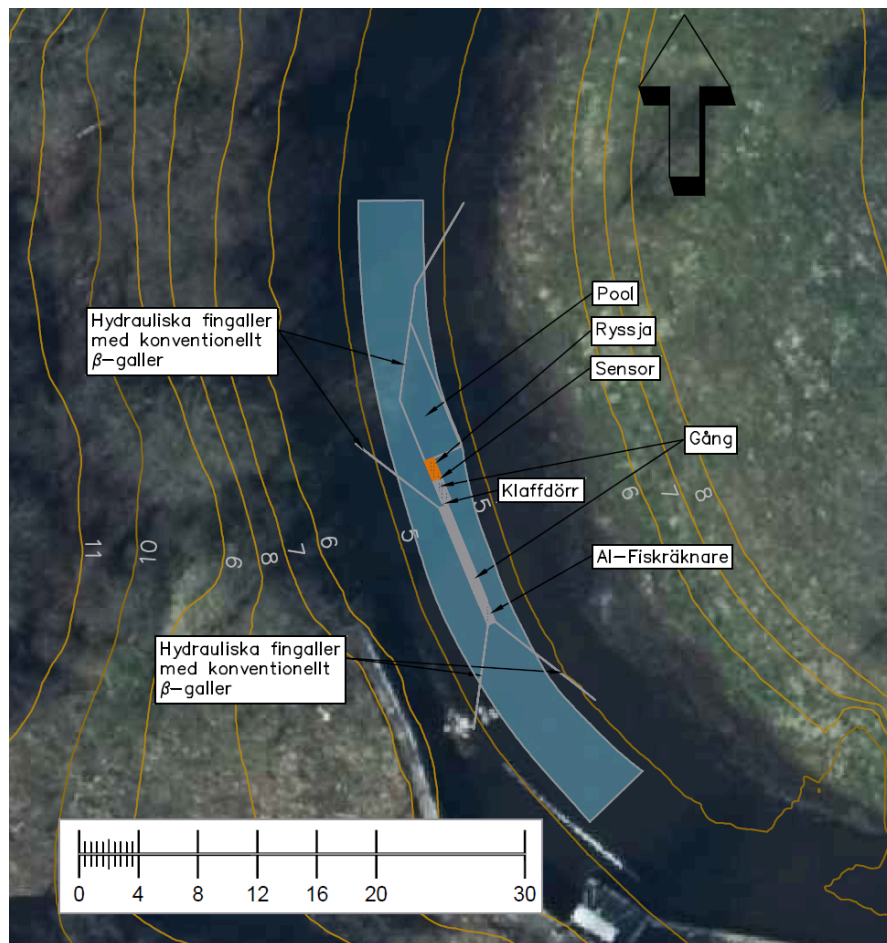
Materialkostnaden för AI-fiskräknaren och det fiskanpassade gallret inklusive dess installationskostnader beräknades till 2 550 000 kr medan övrig materialkostnad i form av gången, klaffdörren (med stegmotor), hydroakustisk sensor och ryssjan uppskattades tillsammans att uppgå till 130 000 kr. Totalkostnaden för fiskselekteringssystemet uppskattades därmed till cirka 2 700 000 kr, se sammanställningen i *Tabell 9*.

Tabell 9. Pris för respektive konstruktionsdel i fiskselekteringssystemet och en sammantagen totalkostnad för hela fiskselekteringssystemet inklusive installationskostnaden för de hydrauliska fingallren.

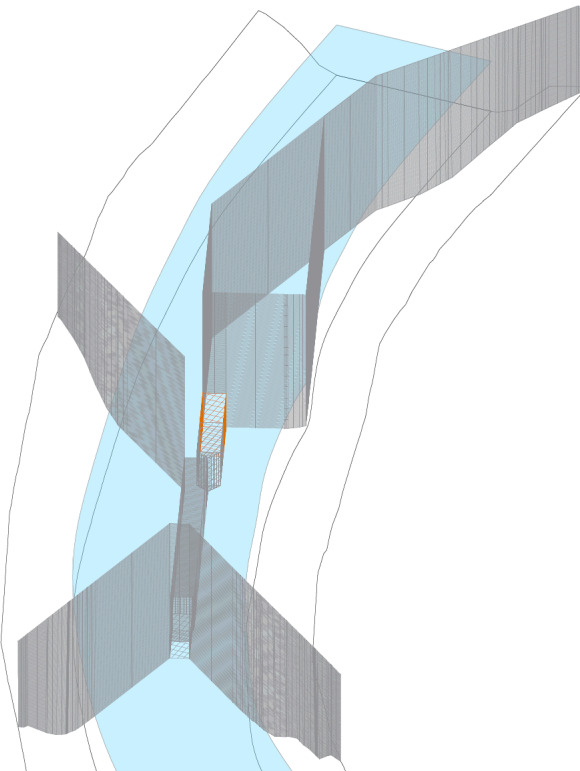
Konstruktionsdel i fiskselekteringssystemet	Pris (kr)
AI-fiskräknare	450 000
Gång	70 000
Klaffdörr (motor)	5 000
Sensor	50 000
Ryssja	5 000
Hydrauliskt fingaller	2 100 000
Totalt	Ca 2 700 000

4.9 Översiktsbild och 3D-modell samt beskrivning av fiskselekteringssystemet i Nybroån

En översiktsbild och 3D-modell skapades av fiskselekteringssystemet som teoretiskt installerades i Nybroån med hjälp av ritprogrammet Civil 3D som är ett CAD-program. Konstruktionsdelarna i fiskselekteringssystemet är en AI-fiskräknare med en längd på 1,4 meter och en dimension på 0,5 x 0,5 m följt av en rektangulär gång med ett djup på 1 meter och en bredd på 0,6 meter som är 7 meter lång. Vid gångens slut finns en klaffdörr vars position bestämmer om vägvalet är till höger, in mot fiskreservoaren, eller vänster, vidare ut i vattendraget. Klaffdörren styrs av en stegmotor som har kapacitet att ändra från ena läget till det andra på en sekund trots vattenföring under HQ50-förhållanden. Svängen in mot fiskreservoaren är 45 grader medan svängen ut mot vattendraget är 30 grader. Direkt efter klaffdörren är det en ytterligare gång på 1,5 meter med samma dimension som föregående gång och i slutet av denna gång sitter en ryssja ihopkopplad som sedan leder in i fiskreservoaren. Vid ihopkopplingen mellan gången och ryssjan sitter en hydroakustisk sensor som registrerar passerade fiskar och signalerar klaffdörren att vrida läge. Fiskreservoaren är uppbyggd av fiskanpassade hydrauliska fingaller av konventionell β -typ liksom de omgivande gallrena som ska fungera som fiskledare in mot fiskselekteringssystemet. De hydrauliska fingallrena är cirka fyra meter höga från botten för att vara ett simhinder under HQ50 men också ett hopphinder under MQ-förhållanden. Se *Figur 32* för en översiktsbild och *Figur 33* för en tredimensionell bild av systemet. För mer tredimensionella bilder, se Bilaga B.1.



Figur 32. En översiktsbild av fiskselekteringssystemet placerad i Nybroån, Köpingsbro.



Figur 33. En 3D-bild av fiskselekteringssystemet.

5 Diskussion

Ett genomgående tema i studien var att det inte finns några klara lagar eller riktlinjer angående fiskars behov för liknande typer av system, speciellt inte i ett sådant här fiskselekteringssystem eftersom detta är en ny konstruktion. Oavsett informationsbristen har det yttersta gjorts i denna studie för att sätta fiskarna i centrum och få en så rättvis och välbedömd grund som möjligt för att bygga upp detta fiskselekteringsystem.

5.1 Konstruktionens itereringsprocess

Under utvecklingen av fiskselekteringssystemet kunde mer detaljerad information frambringas och nya idéer genereras vilket ledde till omstruktureringar av systemet som gav en kedjeeffekt på andra konstruktionsdelar i fiskselekteringssystemet. Genom att exempelvis ändra den största potentiella fiskens storlek så förändrades dimensionerna och längden på gången, ryssjans storlek, reservoarens storlek och hur många fiskar som borde vara i reservoaren samtidigt. På grund av denna itererande process kunde arbetet inte skrivas i kronologisk ordning vilket försvårade arbetsprocessen. Den positiva effekten av denna kedjereaktion är att många olika kombinationer av konstruktionsdelar för fiskselekteringssystemet har undersökts.

5.2 Batymetrisk data

Batymetrin av vattendraget bestämdes utifrån många antaganden och det finns stora osäkerheter i dessa antaganden. Eftersom djupet av vattendraget antogs utifrån en visuell approximation kan det faktiska värdet variera mycket. Även vattenföringen på den aktuella dagen som bilderna blev tagna på var antagen att vara under MQ-förhållanden och om detta antagande är felaktig är eventuellt fiskselekteringssystemets höjdposition, gallerhöjden och fallförlusten också felaktiga. Huvudfokus har dock inte varit att utgå utifrån exakta mätningar i ett specifikt vattendrag i Sverige utan framföra en metodik för hur ett fiskselekteringssystem bör byggas och vad som krävs av verksamhetsutövaren/entreprenören vilket går i linje med frågeställning 1.

Ett problem som uppstod vid bestämmandet av vattendragets form var när vattennivån inte uppgick till 1,5 meter under MQ-förhållanden. Förutom felaktiga antaganden av batymetrin kan detta bero på formen av ån. Åbankerna i ett vattendrag är sällan helt vertikala på grund av erosion och vittring av bankerna (Wohl 2022) och med denna vetskap beräknades den batymetriska formen med hjälp av den matematiska beräkningen som beskrivs i Bilaga C.1. När vattendraget antog den nya batymetriska formen utifrån de matematiska beräkningarna nådde vattenytan ändå inte upp till kanterna. Detta beror troligtvis på att HEC-RAS tar hänsyn till friktionen av omgivningen som ökar med längre sträckor och eftersom den batymetriska korrigeringen resulterade i längre sträckor ökade därmed friktion vilket ledde till ett lägre vattenstånd.

5.3 Konstruktionsdelar

Vissa motiveringar till konstruktionsdelarna i fiskselekteringssystemet har varit långsökta och anledningen till det är att det inte hittades något liknande system. Trots långsökta motiveringar har huvudfokus varit att valen av konstruktionsdelarna skulle vara väl argumenterade så att det finns belägg för varje konstruktionsval.

5.3.1 Gångens dimensionering

Eftersom det svenska officiella rekordet för en lax ligger på 28,7 kg med en längd på 1,35 m och detta system är dimensionerat utifrån en lax på 50 kg som är 1,5 m lång finns det en risk att detta system är överdimensionerat och speciellt i Nybroån där lax sällan vandrar numera. Även längden av gången, som är baserad på den förhöjda farten för en lax, är troligtvis överdimensionerad eftersom simhastigheten är beräknad utifrån att det inte är någon motström i systemet vilket är ett otroligt fall enligt data från S-HYPE som visas i Bilaga E.

Trots att det kan vara en eventuell överdimensionering av fiskselekteringssystemet finns det ingen nackdel ur fiskarnas perspektiv att ha ett större system. Ett större system bidrar till mer manövreringsmån, troligtvis mindre stresspåslag men för verksamhetsutövaren/entreprenören blir det ett dyrare system som tar mer vattenanspråk. En stor dimension helgarderar även fiskselekteringssystemet att kunna selektera ut stora laxar ur ett bestånd vilket kan vara intressant om exempelvis flergångslekare vill studeras. Det är även gynnsamt om mot förmodan att stora malar börjar vandra i vattendraget, att stören får en stor utbredning eller om stora invasiva arter har tagit sig in i vattendraget.

5.3.2 Formen på gången

Trots fördelarna som en cylindrisk form har jämfört med en kvadratisk form för en kulvert enligt 2.4.1 *Dimension för en kulvert / "gång"* utnyttjas inte alla dessa fördelar av gången i detta fiskselekteringssystem. Eftersom detta är en gång för fiskar så är exempelvis tryckfördelningen över gången inte aktuell eftersom det inte förekommer något ovanliggande tryck på gången utöver vattentrycket. Fördelen med att en kvadratisk form valdes att användas var att gångens ovansida då kunde bestå av ett fiskanpassat galler som var öppningsbart med hjälp av en gångjärnsfunktion. Detta gjordes för att minimera stresspåslaget som fiskar kan känna vid mörka och trånga utrymmen vilket går i linje med frågeställning 2 men även för att kunna rensa gången och AI-fiskräknaren på skräp.

5.3.3 Ryssjan

Fördelen med att ha en ryssja som enkelriktad konstruktionsdel är att ryssjans maskstorlek kan anpassas så att de blir lika flyktbegränsande som det hydrauliska fingallret. Nackdelen med en ryssja är att vissa fiskar kan vara rädda och försiktiga när de tvingas att simma igenom en ryssja istället för en öppen gång. Även om det kan finnas fiskar som är känsligare än andra är detta den utvägen efter att klaffdörren har stängts bakom dem vilket innebär att förr eller senare kommer fiskarna behöva simma igenom ryssjan in till fiskreservoaren. Om det mot

förmodan framgår att en ryssja inte är lämplig som enkelriktad väg i ett specifikt vattendrag kanske en slussfunktion kan övervägas som alternativ.

5.3.4 Fiskreservoaren

Trots att fiskselekteringssystemet är baserat på den största potentiella fisken i vattendraget så betyder det inte nödvändigtvis att reservoarvolymen blir onödigt stor. Reservoarvolymens storlek bör vara baserad på hur många fiskar som kan tänkas selekteras ut i framtiden och hur frekvent detta ska göras.

Enligt de fasta måtten, fiskreservoarens längd och gallervinkel innebär det att det alltid kommer finnas ett minsta mått på fiskreservoaren men ett största mått kan variera om det anser att reservoarvolymen inte är tillräcklig stor. Om fiskreservoaren vill förstöras finns det två olika sätt att göra detta. Antingen kan gallervinkeln minskas med avseende på huvudströmfåran eller så kan fiskreservoaren förlängas. Här bör det prioriteras att förlänga fiskreservoaren för annars kommer det bidra till att materialåtgången för gallret blir onödigt stor och att en onödig yta av vattendraget tas i anspråk. Vinkeln på 30 grader bör alltså inte minskas vid en förstoring av fiskreservoaren utan en förlängning av fiskreservoaren i vattendraget längsleds bör göras. En aspekt att dock ha i åtanke är att vinkeln på 30 grader som gallret blev bestämd att ha är ett mått som är baserat utifrån en turbin vid ett vattenkraftverk vars vinkel har i syfte att undvika att fiskar sugas fast vid gallret. Flödes hastigheten varierar över tid i ån och är troligtvis inte lika hög som flödes hastigheten i en turbin vid ett vattenkraftverk (se Bilaga E) vilket antyder att en vinkel på 30 grader kan anses vara lite extremt.

Något att ha i beaktning vid bedömandet av hur många fiskar av en viss storlek som bör vara i fiskreservoaren samtidigt är att de framtagna riktlinjerna i resultatet är väl tilltagna. Detta beror inte bara på att de är baserade utifrån en fiskbassäng i en fisktrappa utan också på grund av att volymen är beräknad som en fyrkantig volym runt varje fisk (*Ekvation 9*) vilket inte symboliserar verkligheten. I verkligheten rör sig fiskarna dynamiskt, passerar varandra och simmar vid ojämna bottenar. Eftersom volymen runt varje fisk troligtvis är mer dynamisk och föränderlig beroende på miljön snarare än en perfekt kvadratisk volym, är de presenterade värdena för volym per fisk förmodligen väl tilltagna.

Tiden som fiskar bör vara i fiskreservoaren kommer att variera beroende på situation och vara direkt styrd av förutsättningarna, omständigheterna och vilka fiskar som är utselekterade. Om exempelvis en frisk fisk selekteras ut för att analyseras i ett forskningsprojekt kanske det inte är så bråttom att plocka upp fisken ur fiskreservoaren. En stressigare situation är istället om sjuka fiskar selekteras ut och det behöver utföras tester för att förstå varifrån utbrottet kommer och speciellt under varmare vattentemperaturer då smittspridningen är snabbare. Detta är endast två scenarier vars vistelsetid i fiskreservoaren är direkt kopplad till omständigheterna. Det kan även vara så att tillgängligheten till fiskselekteringssystemet är svåråtkomlig och att det krävs en omfattande restid vilket kan ge en stor kostnad som gör att frekvent vittjning undviks och att det istället väljs åka dit mer sällan när flera fiskar är utselekterade. Oavsett

omständighet och anledning är en utgångspunkt att fisken ska befinna sig i fiskreservoaren under så kort tid som möjligt för att undvika stresspåslag och förvirring under exempelvis vandring för att kunna svara på frågeställning 2.

5.3.5 Fiskgallret

Att gallerhöjden är baserad på ett maximalt högt hopp som den största potentiella fisken i systemet kan åstadkomma för det aktuella vattendjupet kan anses vara extremt. Trots att fisken har kapacitet att utföra ett sådant hopp är det inte ens säkert att fiskarna orkar hoppa under vandringsperioder då de kan vara trötta efter vandringen, speciellt om fiskselekteringsystemet är långt uppe i ett vattendrag.

Trots att gallerhöjden skulle kunna reduceras är det inte bara ett hoppskydd utan även ett hinder för att fiskar inte ska kunna simma över gallret under HQ50. Det kan dock diskuteras om det är lämpligt att anpassa gallret utifrån en situation som sannolikt endast uppstår vart 50:e år. Det finns till och med ett eventuellt naturligt hinder i form av ett istäcke som gör det omöjligt för fiskarna att hoppa under högvattenföringssäsonger. Det är inte heller säkert att en fisk ska selekteras ut under dessa extrema vattenförhållanden men valet gjordes att detta fiskselekteringssystem inte ska vara beroende av naturliga förändringar utan ha möjligheten att selektera ut fiskar när som helst.

På grund fallförlustens låga värde av 3,7 mm under extremförhållandet HQ50 bedömdes det som försumbart i sammanhanget. Detta resultat gäller endast vattendraget i Nybroån där fiskselekteringssystemet teoretiskt installerades vilket innebär att rimligheten i fallförlust måste bedömas för varje plats eftersom vattenföringen varierar mellan olika platser.

5.4 Lagar

Riktlinjerna och lagarna i 3.4 *Lagar* är endast ett axplock av aspekter att tänka på vid installation och applicering av denna typ av vattenverksamhet och vattenanläggning. En ytterligare väsentlig aspekt som kan tas upp är att enligt kap. 11 §7 i miljöbalken (1998:808) står det att vattenverksamheten inte ska försvåra annan väsentlig verksamhet som eventuellt i framtiden kommer att nyttja samma vattentillgång. Det är även viktigt att veta vilka som kan ingripa och interagera med verksamheten och enligt 5§ fiskelag (1993:787) klassificeras detta fiskselekteringssystem som fiske och eftersom det klassificeras som fiske får regeringen förbjuda eller begränsa vilken typ av fisk som fångas och hur "redskapet" ska användas enligt §19 fiskelag (1993:787). Om invasiva arter utselekteras bör EU-förordningen utgå ifrån, som med detaljerad information beskriver olika scenarier med invasiva arter och hur dessa ska hanteras.

För tydligare och mer ingående lagar bör en diskussion föras med den aktuella kommunen, länsstyrelsen och naturvårdsverket för att ta reda på de lokala bestämmelserna i området. Utöver lagar och riktlinjer som verksamhetsutövaren/entreprenören behöver följa tillkommer även krav på besiktningar och tillsyn vilket också bör konsulteras med lokala myndigheter. Förutom alla måsten som en verksamhetsutövare/entreprenör behöver göra kan det även vara

bra att informera lokalbefolkningen för att få deras åsikt om projektet så att det inte blir en målkonflikt över projektet. För att ha något att presentera för lokalbefolkningen skulle det vara relevant att göra en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) för att få en gedigen och bredare förståelse över vilken lokal påverkan som fiskselekteringssystemet och dess installation har på naturen och dess omnejd.

5.5 Prisanalys

I 4.8 *Approximativ kostnad av fiskselekteringssystemet* framgår det att de stora kostnaderna för fiskselekteringssystemet är fiskräknaren med AI-funktion och det fiskanpassade gallret inkluderad med dess installationskostnader. Notera att totalbeloppet på cirka 2 700 000 kr är exklusive transportkostnader, tillståndsprövningar, installationskostnader av vissa delar och programmering av selekteringsmekanismen. För att få en exakt kostnad på stegmotorn behöver det räknas ut vilken kapacitet motorn bör ha för att kunna vrida läge på en sekund under HQ50-förhållanden. Denna prisberäkning uteslöts på grund av att den är försumbar med avseende på totalbeloppet och irrelevant med hänsyn till att motorkapacitet kommer att variera beroende på HQ50-förhållanden i det särskilda vattendragets där fiskselekteringssystemet ska installeras.

För att återkoppla till avsnittet 4.4 *Dimension av gången och AI-fiskräknaren* där priset diskuterades utifrån formen på gången bedöms det utifrån 4.8 *Approximativ kostnad av fiskselekteringssystemet* att formen på gången är försumbar i förhållande till totalkostnaden. För att reducera totalkostnaden bör fokus läggas på att reflektera över de dyra konstruktionsdelarna istället för att försöka dra ner på kostnaderna på de billigare delarna. Att dra ner på kostnaden för AI-fiskräknaren är svårt då den har ett fast pris och behövs i detta system men gallerstorleken går att förändra. Genom att exempelvis sänka gallerhöjden och/eller ha en flackare vinkel utifrån huvudströmfåran kan priset reduceras avsevärt. Om en annan bedömning görs för gallrets tekniska specifikationer kan även priser reduceras redan där.

En ytterligare åtgärd för att minimera kostnaden för fiskselekteringssystemet är att hela fiskreservoaren inte behöver bestå av hydrauliska fingaller enligt specifikationerna från *Tabell 2*. Exempelvis skulle fiskreservoarens sidor skulle kunna bestå av ett annat material såsom ett solitt billigare material eller ett slags nät eftersom att vid just den sektionen är gallret parallellt med huvudströmfåran. Varför fiskreservoaren fortfarande valdes att utformas på detta vis var eftersom att detta ska vara ett universellt fiskselekteringssystem som ska kunna appliceras var och hur som helst. Om fiskselekteringssystemet skulle behöva vara vinklat på ett speciellt sätt utifrån huvudströmfåran skulle dessa sidor eventuellt få en annan vinkel utifrån huvudströmfåran vilket skulle innebära att ett hydrauliskt fingaller skulle vara nödvändigt.

5.6 Civil 3D (CAD)

Trots insamling av batymetrisk data från ett vattendrag och en visuell uppfattning över systemets utformning kan det ändå vara relevant att rita upp systemet i ett ritprogram såsom CAD. Fördelen med att rita upp ett system i CAD är den tydliga översikten som programmet

förser med och översiktsskissen kan även ge en bredare förståelse angående storleken på systemet gentemot en visuell uppskattning på plats eftersom systemet kan ritas skalenligt. En annan fördel med en illustration i CAD är smidigheten och omedelbarheten att revidera systemets konstruktionsdelar utefter nya idéer och få ett momentant resultat som sedan kan utvärderas och tolkas direkt.

5.7 Problematiska områden för fiskselekteringssystemet

Detta arbete presenterar hur ett fiskselekteringssystem teoretiskt installerades i ett vattendrag men när ett sådant här system ska byggas i praktiken kan det uppstå oförutsägbara problem. Detta innebär att arbetet behöver anpassas efter de specifika omständigheterna på just den platsen.

Problem som kan uppstå som kan försvåra installationsprocessen av fiskselekteringssystemet är om det är väldigt steniga och ojämna bottenar. Hårda bottenar gör det svårt att installera gallret som behöver tryckas ner en bit i botten för stabilitet. Ojämnheten av botten försvårar även installationen av hela systemet eftersom fiskselekteringssystemet har som utgångspunkt installeras horisontellt med avseende på botten. En lösning för att kompensera för ojämna bottenar är att hela fiskselekteringssystemet skulle behöva pålas upp på nödvändiga ställen för att uppnå ett horisontellt system. Förutom pålning av systemet kan marken även jämnas ut genom muddring. Oavsett anpassningsmetod är det viktigt att veta att en del finns en risk för oväntade kostnader om ett liknande problem uppstår under installationen av fiskselekteringssystemet.

Ett annat problem som kan uppstå är om fiskselekteringssystemet ska installeras i smala vattendrag som innebär att gången kan få en begränsad storlek vilket kanske medför att minimikraven inte uppfylls för den största potentiella fisken i vattendraget. Detta bör dock inte vara ett problem eftersom att vid kortare sektioner kan dessa mått minskas och detta undantag bör kunna appliceras på detta system då det är relativt kort system i jämförelse med omlöp som kan vara på flera hundra meter. Förutom begränsad dimension kommer fiskreservoaren troligtvis bli ganska liten på grund av den smala bredden vilket innebär att en avlångsformad reservoar kan behövas installeras vilket kräver en längre sträcka av ån för att bygga ett sådant här system.

Trots tydlig information angående vilka konstruktionsdelar detta fiskselekteringssystem består av kommer troligtvis ändå installationen att variera mellan projekt och områden. Det som kommer variera i installationsprocessen av fiskselekteringssystemet med avseende på projekt och plats är hur mycket av konstruktionen som är färdigbyggd innan det anländer till platsen och hur mycket som är tänkt att byggas på plats. Även tillgängligheten och framkomligheten för transportfordon avgör hur tung och svår installationen blir. I vissa fall kanske fiskselekteringssystemet kan installeras i ett nästan helt komplett stycke med hjälp av en kranbil som kan lyfta i hela konstruktionen och i andra fall kanske allt behöver byggas sektionsvis och detta beror alltså på tillgängligheten, åtkomsten och omständigheterna för just det projektet.

5.8 Framtida studier

Tiden är begränsande och avgörande för hur mycket som hinner göras under ett examensarbete och därför behövde vissa avsnitt prioriteras utifrån signifikans och väsentlighet. Med mer tid kan detta fiskselekteringssystem utvecklas och en mer genomgående studie kan genomföras innan konstruktionen appliceras praktiken.

5.8.1 Påbyggnation

Ett spegelvänt påbyggnadssystem skulle behövas för att få total kontroll av fiskbestånden i vattendraget. Fördelarna som utselektering av nedströmsvandrande fiskar bidrar med är att exempelvis ha möjligheten att undersöka laxens välmående efter lek genom att observera förekomsten av sjukdomar och skador, att studera katadroma fiskar men också för att följa upp konsekvenser efter åtgärder som har vidtagits i ett fiskbestånd uppströms fiskselekteringssystemet.

Eftersom att fiskräknaren använder maskininlärning bör den blir mer tillförlitlig med tiden vilket innebär att användningsområdena för detta system kommer att vidgas. En sak som troligtvis kommer etableras i stor utsträckning är att fiskräknaren kommer kunna känna igen fiskar på individnivå vilket kan vara användbart om exempelvis en första- eller flergångsvandrande fisk vill undersökas. Trots eventuell förändring i utseende efter lek bör det inte vara ett hinder för framtiden med denna självlärande teknik.

Ett spegelvänt påbyggnadssystem i kombination med maskininlärning från AI-fiskräknaren är något som kan ge mer kontroll än väntat. Denna kombination kan exempelvis vara ypperlig för att undersöka kortisolnivåer i blodet hos fiskar. Genom att selektera ut en fisk uppströms och mäta kortisolhalten fås ett referensvärde hur stressad fisken är vid utselektering där det kan ha uppstått ett stresspåslag och eftersom kortisolökningen i blodet är en tidsbaserad process som kan visas långt senare kan samma fisk fångas vid ett senare tillfälle oavsett om den vandrar upp- eller nedströms för att sedan undersöka kortisolhalten igen och på så sätt möjliggöra potentiella följdstudier inom detta område. Med mer kunskap kanske det till och med kan avgöras vad som gav fisken stresspåslag vilket kan hjälpa till att bedöma om gångens längd till klaffdörren är tillräckligt lång, om fisken blev stressad av ryssjan eller om fångenskapet i fiskreservoaren stressade fisken. Genom att analysera fiskars välmående och vad som orsakade stresspåslagen kan det egna fiskselekteringsystemet förbättras utifrån de erhållna resultaten. Dessa idéer är ganska långsökta som innehåller en del antaganden så detta blir en fråga för vidare tillämpningar och studier.

En sak att ta i beaktande om ett spegelvänt påbyggnadssystem ska byggas är att gången till nedströmsselekteringen troligtvis behöver vara längre än gången till uppströmsselekteringen på grund av att fiskarna simmar snabbare nedströms. Oavsett intresse av ett spegelvänt fiskselekteringssystem bör det ändå inledas med att konstruera ett enkelriktat system innan ett dubbelt så stort system konstrueras för att testa alla tekniska funktioner och allt fungerar i enlighet med teorin. En spegelvändning av

fiskselekteringssystemet bidrar även till en större kostnad som också tar mer vattenanspråk i vattendraget. Denna studie kan ses som ett pilotprojekt som behöver testas innan fiskselekteringssystemet kan appliceras i stor utsträckning eller inleda utvecklingen av ett påbyggnadssystem.

Valet att selektera ut fiskar uppströms ansågs som det viktigare hållet att kontrollera eftersom dem flesta fiskarna är anadroma och vandrar uppströms och även för att motverka att invasiva arter eller sjukdomsangripna fiskar tar sig upp i vattendragen och inte minst till lekplatserna.

5.8.2 Programmering

I 1.3 *Avgränsningar* nämndes det att det inte kommer göras någon form av programmering för detta fiskselekteringssystem på grund av bristande information inom området. Den programmering som skulle behöva göras är att lägga in i en kod i AI-fiskräknarens mjukvara som bestämmer vilken fisk som ska selekteras ut och när den fisken detekteras i fiskräknaren ska en signal skickas till en mottagare som sedan skickar en ytterligare signal till stegmotorn att vrida klaffdörren. Med samma metodik kommer klaffdörren stängas när fisken passerar den hydroakustiska sensorn förutom att där signaleras det oavsett vad som passerar eftersom det inte är en AI-fiskräknare utan en kvantitativ fiskräknare. En maxtid som klaffdörren är öppen i selekteringsläge är även ett randvillkor som bör tilläggas i koden eftersom att det finns risk att fisken vänder efter AI-fiskräknaren vilket resulterar i en varaktigt öppen klaffdörr.

5.8.3 Fiskreservoaren

En ingående och detaljerad tanke för att anpassa fiskreservoaren utifrån fiskars behov är att det bör finnas en avskärmande vägg i reservoaren där fiskarna kan vila bakom. Anledningen till att det anses viktigt att ha en viloplats i fiskreservoaren är eftersom att fiskar som har selekterats ut kan vara små, sjuka eller trötta. Extremfallet är när det är högvattenföring och små eller sjuka fiskar har utselekterats som kanske måste vänta i fiskreservoaren innan de kan plockas ut vilket leder till att dem inte orkar simma mot strömmen och pressas mot gallret nedströms i reservoaren och dör. En ytterligare aspekt att ha i åtanke vid utselektering av fiskar är att selektera ut fiskar som inte predeterar på varandra.

5.8.4 Underhåll av fiskselekteringssystemet

Att få ett så självrensande och underhållsfritt system som möjligt som är en del av randvillkoren vilket också är en aspekt som tas upp i frågeställning 3 och detta kan förbättras i detta fiskselekteringssystem. Trots att klaffdörrens svängfunktion är ett typ av självrensande system som rensar sig själv genom byte av läge finns det dock en risk att det ansamlas mycket skräp om utselektering av fisk inte görs frekvent. Detta kan lösas genom att periodvis och med jämna mellanrum byta klaffdörrens läge när ingen fisk är närvarande.

Trots en bättre lösning av rensning vid klaffdörren finns det oavsett en risk att smutsen ansamlas nedströms i gången eller vid fiskräknaren och detta skulle kunna åtgärdas genom att ha ett bakfall på hela konstruktionen. Genom att införa ett bakfall nedströms bidrar det till att

sediment och annat som tenderar att fastna har möjlighet att sköljas ut ur systemet lättare till skillnad från ett horisontellt system. Utöver självrensande delar i fiskselekteringssystemet är det troligtvis oundvikligt att manuella rensningar behöver göras på plats.

För att ha möjligheten att utföra manuella rensningar på ett smidigt sätt bör vattenområdet som är belägen mittemellan ned- och uppströms galler utnyttjas för detta ändamål. Något som kan installeras i detta område för lättare tillgång till hela konstruktionen är att ha gångbara ytor såsom exempelvis flytbryggor som går från vardera åbank vinkelrätt in mot konstruktionen. Med ett sådant påbyggnadssystem underlättas rensningen av gången, fiskräknaren och ger en lättare access till konstruktionen vid reparations- och restaurationsåtgärder.

Rensning av systemet bör försöka göras under MLQ-förhållanden då vattennivån är så låg som möjligt för lättare åtkomst till toppluckan av gången som sitter fast med gångjärn. Rensningsverktyget kan exempelvis vara ett långt skaft med något godtyckligt på änden som hjälper till att trycka ut skräpet genom fiskräknaren och sedan ut i vattendraget nedströms. Något att dock ha i åtanke är att nybyggnationer eller förändringar av en befintlig vattenverksamhet och vattenanläggning kan kräva nya tillstånd och detta är något som bör konsulteras fram med behöriga myndigheter innan åtgärder tas.

5.8.5 Platsbesök

Förutom en digital undersökning av en plats bör platsen också undersökas i verkligheten på ett mer grundligt sätt. Det som kan göras på plats är att exempelvis mäta batymetrin med ett godtyckligt instrument som klarar av ett sådant arbete.

En ytterligare sak som kan göras på plats för att öka tilliten till att fiskselekteringssystemet kommer fungera som tänkt är att analysera fiskarnas beteende i vattendraget samt ta prover på vattenkvaliteten innan konstruktionsprocessen av systemet initieras och detta för att vara mer förankrad över vilket beteende fiskar tenderar och förväntas att ha i just den vattenmiljön. Förutom en visuell observation kan även en undervattenskamera stoppas ner för att hjälpa till med analysarbetet angående fiskars beteendemönster.

Genom mer kunskap och förståelse om vattenmiljön kan bättre anpassningar av systemet göras. Om exempelvis fiskars simhastighet studeras och det resulterar i en långsammare simhastighet än förväntat kan längden på gången reduceras vilket innebär lägre kostnader för gången samt ett fiskselekteringsystem som tar mindre vatten i anspråk. Ett ytterligare exempel som ett platsbesök vid området kan bidra till är möjligheten att upptäcka bottenlevande djur såsom kräftor. För att undvika att behöva placera fiskselekteringsystemet på botten för att möjliggöra för de bottenlevande djuren att passera genom systemet, vilket leder till ackumulation av sediment i systemet, kan en modifiering av fiskselekteringsystemet göras. En lösning för att undvika ackumulation av sediment i systemet samtidigt som det möjliggör passage för bottenlevande djur är att installera ramper som består av ett fiskanpassat α -galler på vardera ände av systemet. Det fiskanpassade α -gallret bör då ha en minskad spaltbredd, anpassad efter de bottenlevande djurens behov så att det kan passera utan

klämrisk. Om detta innebär att metallstängerna behöver placeras bredvid varandra, utan spaltbredd kan isåfall α -gallret bytas ut mot ett solitt material för att utforma rampen. Dessa exempel belyser fördelen med att göra en platsanalys innan installationen av fiskselekteringssystemet, då insikten av problemområden fördjupas och lösningar kan erhållas genom att studera platsen i verkligheten.

5.8.6 Annat användningsområde för fiskselekteringssystemet

Förutom att selektera ut fiskar ur ett analytiskt och ekologiskt förbättrande perspektiv kan fiskselekteringssystemet även ses som ett automatiskt fiskeredskap. Detta skulle troligtvis vara en mer skonsam fiskemetod än andra konventionella fiskesätt. Denna idé är dock något som bör hanteras med försiktighet eftersom fiskar som vandrar behöver fortsätta sin vandring för att nå lekplatsen och fullborda sin livscykel så det finns en risk att fiskbeståndet skulle kunna bli negativt påverkat av denna fiskemetod. Med detta i åtanke kan utselekteringen anpassas genom att exempelvis endast selektera ut odlad lax som inte är en del av det naturliga beståndet. Detta är fullt möjligt eftersom fiskräknaren kan detektera fettfenans utformning och eftersom odlad lax har klippt fettfena kan den vilda laxen och odlade laxen särskiljas. Med ett system som detta finns det alltså möjlighet att selektera ut odlade laxar ur ett kommersiellt perspektiv.

5.9 Felkällor

För en teoretisk konstruktion som inte har applicerats i verkligheten och som innehåller ganska mycket antaganden är felkällor oundvikliga.

5.9.1 Fiskens proportioner

För omkretsberäkningen användes två olika beräkningsmetoder för att validera svaret varav den ena var utifrån en fiskalkylatorekvation som baserades på fiskares fångster. Trots att ekvationen är baserad på fiskares fångster och kan anses som en osäker källa valdes det ändå att använda ekvationen eftersom flera oberoende källor har kommit fram till samma ekvation. Detta betraktas dock som potentiell felkälla eftersom datan för de olika källorna kan ha kommit från samma fiskare.

Den framtagna proportionen av en lax baseras dels på förhållanden som framtagits i Petrell & Jones (2000) studie, där laxar med en vikt på 1-6 kg studerades. Det är en risk att trenden av förhållandena inte fortsätter på samma sätt för stora laxar, vilket innebär att dessa förhållanden kan bli missvisande. Detta problem gäller även för fiskar som väger mindre än 1 kg.

Även utgångspunkten att en lax potentiellt kan väga 50 kg kan också vara fel eftersom det endast är en hypotetisk maxvikt som inte är bekräftad. Eftersom att det svenska rekordet för lax ligger strax under 30 kg så kan en lax på 50 kg bedömas vara ett otroligt scenario.

5.9.2 Fiskselekteringsprocessen

Det är svårt att förutspå det extra avståndet som behövs mellan fisken och klaffdörren så att fisken inte blir stressad av klaffdörrens rörelse och detta eftersom att fiskens stressutsöndring är beroende på omständigheterna i just den miljön och stunden. Oavsett kunskap om fiskars stress så är alla arter unika och reaktionen varierar utifrån händelse och miljö så detta är något som bör testas fram för att erhålla ett avstånd som fiskarna behöver till klaffdörren i just den miljön (Persson & Leonardsson 2020). Klaffdörren kommer troligtvis inte heller vara helt tät eftersom att den stängs mot en gummikant vilket innebär läckage av vatten som flödar in i gången vilket initialt kan ge en felaktig anlockning innan fisken inser att det är en återvändsgränd.

När en fisk ska selekteras ut öppnas klaffdörren och vid just det tillfället finns det en risk att fler närvarande fiskar simmar in i selekteringsdelen av fiskselekteringssystemet. Det finns även en risk att fisken som ska selekteras ut registreras i AI-fiskräknaren och sedan simmar tillbaka, vilket resulterar i att klaffdörren, som är öppen under valfri programmerad tidsperiod, ändrar läge och gör det möjligt för andra fiskar att oavsiktligt bli utselekterade. Ytterligare kan det vara så att en större lax eller öring jagar en fisk vilket innebär en snabbare simhastighet än den maximala förhöjda farten som kan innebära att en vridning av klaffdörren inte hinns med och en utselektering av den fisken uteblir. Det finns även alltid en klämrisk för fiskar under rotationstillfället.

Eftersom det är en kvantitativ sensor som registrerar när en fisk har utselekterats finns det en risk att den fisken som registrerades vid AI-fiskräknaren inte är samma fisk som utselekterades då det kan vara en annan förbipasserande fisk som simmade in i selekteringsdelen av fiskselekteringssystemet. För att säkerställa att det är samma fisk som registreras vid AI-fiskräknaren och den hydroakustiska sensorn så skulle sensorn behöva vara mer avancerad än en kvantitativ fiskräknare. Varför detta inte har valdes att göras är på grund av priset. Om en AI-fiskräknare skulle installeras efter klaffdörren istället för en kvantitativ sensor skulle det bli cirka en halv miljon kronor dyrare.

Dessa scenarier är troligtvis ganska sällsynta vilket innebär att risken för utselektering av felaktig fisk är låg. Om felaktiga utselekteringar mot förmodan sker är det inte farligt för fisken att bli utselekterad eftersom att den kommer att tillbringa sin tid i en stor fiskreservoar tills den tas ut och återplaceras i vattendraget.

5.9.3 HEC-RAS

Felkällorna i HEC-RAS är stora eftersom resultaten baserades på många antaganden. Djupet antogs utifrån visuella analyser av bilder som var tagna på platsen med lite hjälp från HEC-RAS vid bedömandet av höjdskillnaden mellan dammen och vattendraget utan någon kännedom om vattenföringen för just den dagen. Om något antagande angående batymetrin är felaktigt blir resultatet felaktigt, vilket var medvetet och motiverat i 3.2 *HEC-RAS* och som ledde till att antaganden ändå gjordes. Oavsett medvetenhet och motivering är detta ändå en stor felkälla.

Antagandet om djupet och vattenföringen då bilderna togs kontribuerar till en bestämd lutning av åbankerna. På grund av den låga altituden i förhållande till NAP borde åbankerna haft en flackare lutning med avseende på erosion. Enligt vattendata för Nybroån som hämtades från SMHI (2023a) nämns det även att 80% av delavrinningsområdet består av sandy loam / loam vilket är en relativt lättroderad jordartstyp vilket tyder ännu mer på att det borde vara en relativt flack lutning av åbankerna vid detta område som också är långt nedströms i vattendraget. Trots denna vetskap användes ändå denna lutning av åbankerna för att få fram ett teoretiskt resultat.

En annan osäkerhet och felkälla är hur laserskanningen av topografin utfördes. Är lasern kalibrerad, var flygningen ojämn, förväxlades växter med mark, reflekterade vattenytan lasern så en felaktig topografi daterades eller har skuggor förvrängt topografin är bara några av felkällorna som kan ha uppstått under den topografiska laserskanningen. Detta innebär att trots väldigt bra uppskattningar angående batymetrin finns det en intern osäkerhet i höjddatan som kan bidra till ett felaktigt resultat.

Eftersom att det var en endimensionell modellering som utfördes i HEC-RAS blev tvärsnittet av hastigheten jämnt distribuerad över höjden. Detta är missvisande då flödeshastigheten varierar i vattenmassan. Det syns även på flödeshastighetsprofilerna att den valda hastigheten inte täcker hela fåran vilket också resulterar i ett felaktigt värde. Trots felaktiga värden ansågs de acceptabla att användas eftersom att gallret har en höjd som täcker hela den vertikala sektionen av tvärsnittet vilket gör resultatet mer förlåtande.

För att vara petig är fallförlusten beräknad för horisontella metallstänger med en viss spaltbredd och dessa metallstänger är installerade på vertikala stolpar som håller upp hela fiskselekteringssystemet vilket inte är något som har tagits i beaktande vid beräkning av fallförlusten. Detta är något som troligtvis kan bortses ifrån på grund av den lilla fallförlusten som presenteras i *Tabell 5*.

6 Slutsatser

Fiskselekteringssystemet som teoretiskt installerades i Nybroån, Köpingsbro består av en AI-fiskräknare följt av en gång, selekteringsmekanism, sväng, sensor, enkelriktad väg, fiskreservoar och allt detta omringat av vinklade galler som leder fiskarna genom detta system. Studien byggde på många antaganden vilket innebär osäkerheter i konstruktionens uppbyggnad men trots det uppfylldes ändå målet vilket var att tillhandahålla en beskrivning hur detta fiskselekteringssystem skulle byggas upp och viktiga aspekter att beakta. Något som genomgående låg i fokus under hela studien var att uppfylla alla frågeställningar och de satta randvillkoren, vilket ansågs ha lyckats väl.

Denna studie kan ses som ett pilotprojekt som kan användas av verksamhetsutövare/entreprenörer som vill applicera denna konstruktion i praktiken. Vid

utförandet av en praktisk installation av fiskselekteringssystemet behöver vissa anpassningsbara konstruktionsdelar justeras så att de anpassas utefter den miljö där fiskselekteringssystemet ska installeras. Förutom att enbart undersöka miljön digitalt där konstruktionen ska placeras är det även bra att åka till platsen för att få en total överblick över miljön och dess omständigheter. Att rita fiskselekteringssystemet skalenligt i ett CAD-program kan också vara fördelaktigt då det bidrar till en översiktlig bild över systemet som förtydligar vilket vattenanspråk konstruktionen kräver men även för att enkelt kunna revidera konstruktionen digitalt och få ett omedelbart resultat.

Eftersom att detta är en pilotstudie för ett fiskselekteringssystem som automatiskt selekterar ut fiskar av intresse i valfritt vattendrag kan denna studie byggas vidare på. Diskussionsdelen har tagit med många olika aspekter och scenarier för att besvara så många frågor som möjligt men också för att möjliggöra efterstudier av denna rapport. Summeringen av denna studie är att ett automatiserat fiskselekteringsystem med hjälp av AI-fiskräknare är genomförbart att applicera i Nybroån, Köpingsbro men även på andra platser förutsatt att de anpassningsbara delarna justeras utefter den nya miljöns förutsättningar.

Referenser

Aerts, J., Metz, J.R., Ampe, B., Decostere, A., Flik, G. & De Saeger, S. (2015). *Scales Tell a Story on the Stress History of Fish*. [2024-01-25]

AFS (2014). *Guidelines for the Use of Fishes in Research*. [Guidelines-for-Use-of-Fishes.pdf \(fisheries.org\)](#) [2024-01-17]

Animal Welfare Institute (2024). *Fish Farming*. [Fish Farming \(awionline.org\)](#) [2024-03-27]

Ahven (u.å.). *Fisksjukdomar och parasiter* [Fisksjukdomar och parasiter - Ahven.net](#) [2024-01-24]

Artdatabanken, SLU (u.å.a.). *Atlantstör*. [Atlantstör Acipenser oxyrinchus - Artfakta från SLU Artdatabanken](#) [2024-01-30]

Artdatabanken, SLU (u.å.b.). *Europeisk stör*. [Europeisk stör Acipenser sturio - Artfakta från SLU Artdatabanken](#) [2024-03-08]

Artdatabanken, SLU (u.å.c.). *Gädda*. [Gädda Esox lucius - Artfakta från SLU Artdatabanken](#) [2024-03-28]. Figur 4 används med tillstånd.

Artdatabanken, SLU (u.å.d.). *Lax*. [Lax Salmo salar - Artfakta från SLU Artdatabanken](#) [2024-03-28]. Figur 3 används med tillstånd.

Artdatabanken, SLU (u.å.e.). *Mal*. [Mal Silurus glanis - Artfakta från SLU Artdatabanken](#) [2024-03-28]. Figur 2 används med tillstånd.

Askims Rostfria Stål (u.å.). *Jämförelsetabell*. [Jämförelsetabell - Askims Rostfria Stål AB](#) [2024-05-13]

Autodesk (u.å.). *Autodesk Civil 3D: Omfattande programvara för detaljerad design och dokumentation för mark-, väg- och VA-infrastruktur*. [Programvaran Autodesk Civil 3D | Hämta priser och köp en äkta Civil 3D 2024](#) [2024-04-22]

Bengtsson, J. (2022). "Vi räknade fel" - nu är sillen nästan utrotad i Östersjön. *FrihetsNytt*, 6 september. ["Vi räknade fel" – nu är sillen nästan utrotad i Östersjön - FrihetsNytt](#) [2024-01-16]

Bruce, B. (2002). Stress in Fishes: A Diversity of Responses with Particular Reference to Changes in Circulation Corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*. 42(3), 517-525. [Stress in Fishes: A Diversity of Responses with Particular Reference to Changes in](#)

[Circulating Corticosteroids1 | Integrative and Comparative Biology | Oxford Academic \(oup.com\)](#) [2024-01-25]

Calles, O (2005). *Fiskars migration och reproduktion i reglerade vatten*. [Microsoft Word - IU_OC_final.doc \(älvräddarna.se\)](#) [2024-01-29]

Creamer, P (2007). *Culvert Hydraulics: Basic Principles*. [Culvert Hydraulics: Basic Principles - Contech Engineered Solutions \(conteches.com\)](#) [2024-03-08]

de Abreu, S.M., Demin, K.A., Giacomini, A.C.V.V., Amstitslavskaya, T.G., Strekalova, T., Maslov, G.O., Kositsin, Y., Petersen, E.V & Kalueff, A.V. (2021). *Understanding how stress responses and stress-related behaviours have evolved in zebrafish and mammals*. [Understanding how stress responses and stress-related behaviors have evolved in zebrafish and mammals - PMC \(nih.gov\)](#) [2024-04-10]

de Bie, J., Peirson, G. & Kemp, P.S. (2018). Effectiveness of horizontally and vertically oriented wedge-wire screens to guide downstream moving juvenile chub (*Squalius cephalus*). *Ecological Engineering*. 123, 127-134. [Effectiveness of horizontally and vertically oriented wedge-wire screens to guide downstream moving juvenile chub \(Squalius cephalus\) - ScienceDirect](#) [2024-02-02]

Ehnbom, N. (1966). Lax och laxöring i Nybroån. *Svensk Fiskeri Tidskrift*. [Lax och laxöring i Nybroån \(nybro-kabusa.se\)](#) [2024-02-10]

Eklöv, A. (2018). *Undersökning av fiskfauna och vandringshinder*. [Fisk-Lund-2018.pdf \(hojen.se\)](#) [2024-02-06]

Europeiska kommissionen (u.å.). *Fiskeredskap*. [Fiskeredskap \(europa.eu\)](#) [2024-01-17]

Europeiska unionen (2020). *Riktlinjer för vattenkvalitet och hantering för att säkra välbefinnandet för odlad fisk*. [aw_platform_plat-conc_guide_farmed-fish_sv.pdf \(europa.eu\)](#) [2024-02-05]

Fish Protection Tools (u.å.). *Fish Swimming Performance User Guide*. [Fish Swimming Performance User Guide \(fish protection tools.ca\)](#) [2024-02-01]

FishSwami (2024). *Fish Weight Calculator*. [Fish Weight Calculator | Fish Swami](#) [2024-03-28]

Fiskevårdsteknik AB (2013). *Lax i Nybroån*. [Lax i Nybroån – Fiskevårdsteknik AB \(fvt.se\)](#) [2024-02-10]

Fiskevårdsteknik AB (u.å.a.). *Fiskgaller och avledning*. [Fiskgaller & avledning – Fiskevårdsteknik AB \(fvt.se\)](#) [2024-01-25]. Figur 8 används med tillstånd.

Fiskevårdsteknik AB (u.å.b.). *Svampangripen fisk*. [Svampangripen fisk – Fiskevårdsteknik AB \(fvt.se\)](#) [2024-03-28]. Figur 5 används med tillstånd.

Fiskdata (u.å.a.). *Fiskdata.se*. [Fiskdata.se - Fiskräkning på nätet](#) [2024-01-20]

Fiskdata (u.å.b.). *Köpingebro i Nybroån*. [Fiskdata.se - Fiskräkning på nätet](#) [2024-04-04]. Figur 14 används med tillstånd.

Greensky Power (2023). *What Are 5 Types Of Control Motors?*. [What are 5 types of control motors? -Greensky Power \(greensky-power.com\)](#) [2024-04-24]

havet (2017). *Ovanlig stör gästade Lysekils hamn*. [Ovanlig stör gästade Lysekils hamn | Havet.nu](#) [2024-01-30]

Havs- och Vattenmyndigheten (2013a). *Anordningar för upp- och nedströmspassage av fisk vid vattenanläggningar*. (2013:14). Havs- och vattenmyndigheten, [rapport-hav-2013-14-anordningar-passage-fisk.pdf \(havochvatten.se\)](#) [2024-02-05]. Figur 10 används med tillstånd.

Havs- och Vattenmyndigheten (2013b). *Fiskvandring - arter, drivkrafter och omfattning i tid och rum*. [FULLTEXT01.pdf \(diva-portal.org\)](#) [2024-02-09]

Havs- och Vattenmyndigheten (2014a). *Gädda*. [Gädda - Arter och livsmiljöer - Havs- och vattenmyndigheten \(havochvatten.se\)](#) [2024-01-31]

Havs- och Vattenmyndigheten (2014b). *Lax*. [Lax - Arter och livsmiljöer - Havs- och vattenmyndigheten \(hav och vatten.se\)](#) [2024-01-24]

Havs- och Vattenmyndigheten (2014c). *Mal*. [Mal - Arter och livsmiljöer - Havs- och vattenmyndigheten \(havochvatten.se\)](#) [2024-01-31]

Havs- och Vattenmyndigheten (2016). *Atlantstör och europeisk stör*. [Atlantstör och europeisk stör - Arter och livsmiljöer - Havs- och vattenmyndigheten \(havochvatten.se\)](#) [2024-01-30]. Figur 1 används med tillstånd.

Havs- och Vattenmyndigheten (2020). *Lake*. [Lake - Arter och livsmiljöer - Havs- och vattenmyndigheten \(havochvatten.se\)](#) [2024-01-19]

Havs- och Vattenmyndigheten (2022). *På stranden*. [På stranden - Invasiva främmande arter - Arter och livsmiljöer - Havs- och vattenmyndigheten \(havochvatten.se\)](#) [2024-01-19]

Havs- och Vattenmyndigheten (2023a). *Förändrat klimat banar väg för invasiva arter i vatten*. [Förändrat klimat banar väg för invasiva arter i vatten - Aktuellt - Havs- och vattenmyndigheten \(havochvatten.se\)](#) [2024-01-16]

Havs- och Vattenmyndigheten (2023b). *Lektidsportalen* [Lektidsportalen - Arter och livsmiljöer - Havs- och vattenmyndigheten \(havochvatten.se\)](#) [2024-01-19]

Havs- och Vattenmyndigheten & Naturvårdsverket (u.å.). *Om invasiva främmande arter*. [Om invasiva främmande arter - ett växande problem där din hjälp behövs ISBN: 978-91-620-8819-4 \(naturvardsverket.se\)](#) [2024-01-17]

HEC-RAS User's Manual (2024). *Georeferencing an HEC-RAS Model*. [Georeferencing an HEC-RAS Model \(army.mil\)](#) [2024-02-16]

Hornbach (u.å.). *Att tänka på när du skaffar akvariefiskar*. [Skaffa fiskar – ta hand om fiskar i akvarium | HORNBACH](#) [2024-02-05]

Jordbruksverket (2024). *Vattenverksamhet och vattenanläggningar*. [Vattenverksamhet och vattenanläggningar - Jordbruksverket.se](#) [2024-03-04]

Klimatanpassning (2023). *Vattenstånd*. [Vattenstånd | Klimatanpassning.se](#) [2024-04-08]

Lantmäteriet (u.å.a.). *Geodata*. [Geodata | Lantmäteriet \(lantmateriet.se\)](#) [2024-03-01]

Lantmäteriet (u.å.b.). *Tyngdkraften*. [Tyngdkraften | Lantmäteriet \(lantmateriet.se\)](#) [2024-02-23]

Li, D., Miao, Z., Peng, F., Wang, L., Hao, Y., Wang, Z., Chen, T., Li, & Zheng, Y. (2020). Automatic counting methods in aquaculture: A review. *World Aquaculture Society*. 52(2), 269-283. [Automatic counting methods in aquaculture: A review - Li - 2021 - Journal of the World Aquaculture Society - Wiley Online Library](#) [2024-04.29]

Lundqvist, H., Leonardsson, K., Williams, J., Östergren, J., Hellström, G. & Forssén, Å. (2015). Problematiken kring flergångslekare av Lax, Öring och Steelhead i vildlaxförande stora flödesreglerande vattendrag. *SLU*. 8. [lundqvist_h_etal_150903.pdf \(slu.se\)](#)

MSC (2024). *Överfiske och olagligt fiske*. [Överfiske och olagligt fiske | Marine Stewardship Council \(msc.org\)](#) [2024-01-16]

Martínez-Porchas, M., Martínez-Córdova, L.R. & Ramos-Enriquez, R. (2009). Cortisol and Glucose: Reliable indicators of fish stress?. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. 4(2), 158-178. [Microsoft Word - PanamJAS 4 2 158-178](#) [2024-04-11]

Mateus, A.P., Power, A.B. & Canário, A.V.M. (2017). Chapter 8 - Stress and Disease in Fish. *Fish Diseases*. 187-220. [Stress and Disease in Fish - ScienceDirect](#) [2024-01-25]

Mazzi, G., Feltracco, M., Altavilla, L., Alterio, A., Barbaro, E., Bortolini, M., Malavasi, S. & Gambaro, A. (2023). Cortisol, cortisone and DHEAS in epidermis and scales of fish *Aphanius fasciatus*: HPLC-MS/MS measurement of stress indicators as proxies for natural and human-induced factors. *Science of The Total Environment*. 904, 166900 [Cortisol, cortisone and DHEAS in epidermis and scales of fish *Aphanius fasciatus*: HPLC-MS/MS measurement of stress indicators as proxies for natural and human-induced factors - PubMed \(nih.gov\)](#) [2024-04-10]

Meister, J., Selz, O.M., Beck, C., Peter, A., Albayrak, I., & Boes, R.M. (2022). Protection and guidance of downstream moving fish with horizontal bar rack bypass systems. *Ecological Engineering*. 178, 106584. [Protection and guidance of downstream moving fish with horizontal bar rack bypass systems - ScienceDirect](#) [2022-02-02]. Figur 9 används med tillstånd.

MSB (2022). Översvämning - Stöd för det förebyggande arbetet. [Översvämning - stöd för det förebyggande arbetet \(msb.se\)](#) [2024-03-04]

Naturskyddsföreningen (2021a). 4 utmaningar för världens hav. [4 utmaningar för världens hav - Naturskyddsföreningen \(naturskyddsforeningen.se\)](#) [2024-01-16]

Naturskyddsföreningen (2021b). Hur fungerar vattenkraft?. [Hur fungerar vattenkraft? - Naturskyddsföreningen \(naturskyddsforeningen.se\)](#) [2024-04-24]

Naturvårdsverket (1993). *FISKODLING Planering, tillstånd, tillsyn*. [Naturvårdsverkets författningssamling, AR 93:10 \(svenskt vattenbruk.se\)](#) [2024-02-07]

Naturvårdsverket (2020). *Ekosystemansatsen - praktiska erfarenheter från svensk havs- och vattenförvaltning*. (Rapport 6934). Naturvårdsverket? [978-91-620-6934-6.pdf \(naturvardsverket.se\)](#)

Naturvårdsverket (2022). *EU-förordningen om invasiva främmande arter*. [EU-förordningen om invasiva främmande arter \(naturvardsverket.se\)](#) [2024-01-19]

Naturvårdsverket (2023). *Hot mot den biologiska mångfalden*. [Hot mot den biologiska mångfalden \(naturvardsverket.se\)](#) [2024-01-16]

Naturvårdsverket (u.å.). *Invasiva främmande arter*. [Invasiva främmande arter – djur och växter \(naturvardsverket.se\)](#) [2024-01-19]

Nybroån (u.å.). *Havsöringsreproducerande å som mynnat ut strax öster om Ystad*. [nybroan.se](#) [2024-03-14]

Ny Nationell Höjdmodell (2009). *Infoblad N:O 14 Flygburen Laserskanning*. [Infoblad no 14, Flygburen laserskanning \(lantmateriet.se\)](#) [2024-02-16]

Ovidio, M., Dierckx, A. & Benitez J.P. (2023). Movement behaviour and fishway performance for endemic and exotic species in a large anthropized river. *Limnologica*. 99, 126061. [Movement behaviour and fishway performance for endemic and exotic species in a large anthropized river - ScienceDirect](#) [2024-01-31]

Persson, L., Raunsgard, A., Thorstad, E.B., Østbord, G., Urdal, K., Sægrov, H., Ugedal, O., Hindar, K., Karlsson, S., Fiske, P. & Bolstad, G.H. (2023). *Iteroparity and its contribution to life-history variation in Atlantic salmon*. [Iteroparity and its contribution to life-history variation in Atlantic salmon \(cdnsiencepub.com\)](#) [2024-01-19].

Persson, L., Leonardsson, K (2020). Utformning och uppföljning av fiskpassagelösningar. *SLU*. 4. [persson_l_et_al_210209.pdf \(slu.se\)](#)

Petrell, R.J. & Jones, R.E. (2000). Power requirement of swimming in Chinook salmon and Atlantic salmon and implications for food conversion and growth performance. *Aquacultural Engineering*. 22(3), 225-239. [Power requirement of swimming in chinook salmon and Atlantic salmon and implications for food conversion and growth performance - ScienceDirect](#) [2024-02-14]

Sandin, O. (2022). Regeringens bedömning efter utfiskningen i Östersjön: "Väldigt märkligt". *Syre*, 4 oktober. [Regeringens bedömning efter utfiskningen i Östersjön: "Väldigt märkligt" \(tidningensyre.se\)](#) [2024-01-16]

Santonico, R., Cardarelli, R. (2002). Development of resistive plate counters. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*. 187(2-3), 377-380. [Development of resistive plate counters - ScienceDirect](#) [2024-04-29]

SAOB (2024). *Ryssja*. [ryssja | SAOB](#) [2024-02-12]

SAKL FYFF (2022). *Atlantstören återvänder till Östersjön*. [Atlantstören återvänder till Östersjön - FYFF \(sakl.fi\)](#) [2024-01-31]

Simrad (2024). *Ekolodskollektivet*. [Ekolodskollektivet | Simrad Sverige \(simrad-yachting.com\)](#) [2024-03-27]

SJVFS 2019:15. *Statens jordbruksverkets föreskrifter och allmänna råd om villkor för hållande, uppfödning och försäljning m.m av djur avsedda för sällskap och hobby*. Lagen.nu

SLU (2024). *Bekämpning av invasiva främmande arter*. [Bekämpning av invasiva främmande arter | SLU Artdatabanken](#) [2024-01-24]

SMHI (2015). *Förklaring till flödesstatistik*. [Förklaring till flödesstatistik | SMHI](#) [2024-02-07]

SMHI (2020). *Klimatförändringar och biologisk mångfald*. [Klimatförändringar och biologisk mångfald - Slutsatser från IPCC och IPBES i ett svenskt perspektiv \(naturvardsverket.se\)](#) [2024-01-15]

SMHI (2022). *Höjdsystem och vattenstånd*. [Höjdsystem och vattenstånd | SMHI](#) [2024-02-07]

SMHI (2023a). *S-HYPE: HYPE-modell för hela Sverige*. [S-HYPE: HYPE-modell för hela Sverige | SMHI](#) [2024-03-08]

SMHI (2023b). *Vattenföring*. [Vattenföring | SMHI](#) [2024-01-31]

SMHI (2024). *Havsvattenstånd*. [Havsvattenstånd | SMHI](#) [2024-01-31]

Smögens nät (u.å.). *Fiskeredskap*. [Fiskeredskap - Smögens Nät \(smogensnat.se\)](#) [2024-03-28]. Figur 7 används med tillstånd.

Sportfiskarna (2013). *Laxlexikon*. [Laxfolder_Savaan_LOW.pdf \(sportfiskarna.se\)](#) [2024-02-11]

Sportfiskarna (2015a). *Lax*. [Lax - Lär dig allt om laxen | Sportfiskarna](#) [2024-01-19]

Sportfiskarna (2015b). *Sportfiskerekord i sötvatten*. [Sportfiskerekord i sötvatten | Sportfiskarna](#) [2024-01-31]

Sportfiskarna (2016). *Hjälp till att fånga sjuk öring och lax!*. [Hjälp till att fånga sjuk öring och lax! - Nyheter & aktuellt | Sportfiskarna](#) [2024-01-17]

Stena Stål (2024). *Prislista*. [Prislista | Stena Stål \(stenastal.se\)](#) [2024-05-13]

SVA (2010). *Svavet*. [svavet_2010_1.pdf](#) [2024-01-26]

SVA (2023). *Hälsoläge för vildlevande fisk, kräftdjur, musslor och ostron*. [Hälsoläge för vildlevande fisk, kräftdjur, musslor och ostron - SVA](#) [2024-01-24]

SVA (2024). *Smittskydd och hälsoläge för fisk*. [Smittskydd och hälsoläge för fisk - SVA](#) [2024-01-24]

SVA (u.å.). *Sjukdomar hos fisk*. [Sjukdomar hos fisk - SVA](#) [2024-01-16]

Sveriges Domstolar (u.å.). *Om Sveriges Domstolar*. [Om Sveriges Domstolar - Sveriges Domstolar](#) [2024-03-04]

Tableau (u.å.). *Orsaksanalys förklarar med exempel och metoder*. [Orsaksanalys: definition, exempel och handledning \(tableau.com\)](#) [2024-01-17]

TiVA (2023a). *Bransch-unik fiskalgoritim och AI*. [Fiskalgoritim och AI | TiVA](#) [2024-01-18]

TiVA (2023b). *Våra referensprojekt*. [Referensprojekt | TiVA](#) [2024-01-25]. Figur 11 används med tillstånd.

TiVA (2023c). *Marknadens mest pålitliga fiskräkning*. [Högteknologisk fiskräknare med AI | TiVA](#) [2024-01-25]. Figur 6 används med tillstånd.

TiVA (u.å.). *Realtidsanalys - Högteknologisk fiskräkning*. [Produktblad_FC \(tiva.se\)](#) [2024-01-25]

Thlusty, M. (2002). The benefits and risks of aquacultural production for the aquarium trade. *Aquaculture. Issue 3-4*, 203-219. [The benefits and risks of aquacultural production for the aquarium trade - ScienceDirect](#) [2024-01-25]

Transmotec (2024). *Stegmotorer*. [Stegmotorer - Transmotec](#) [2024-05-13]

Trégarot, E., D'Olivo, J.P., Botelho, A.Z., Cabrito, A., Cardoso, G.O., Casal, G., Cornet, C.C., Cragg, S.M., Degia, A.K., Fredriksen, S., Furlan, E., Heiss, G., Kersting, D.K., Maréchal, J.-P., Meesters, E., O'Leary, B.C., Pérez, G., Seijo-Núñez, C., Simide, R., van der Geest, M. & de Juan, S. (2024). Effects of climate change on marine coastal ecosystems - A review to guide research and management. *Biological Conservation*. 289, 110394. [Effects of climate change on marine coastal ecosystems – A review to guide research and management - ScienceDirect \(uu.se\)](#) [2024-04-10]

Trout Unlimited (u.å.). *How to Calculate a Fish's Weight Without a Scale*. [Fish Weight Calculator — Five Rivers Trout Unlimited \(fiveriverstu.org\)](#) [2024-03-28]

US Army Corps of Engineers (u.å.). *HEC-RAS*. [HEC-RAS \(army.mil\)](#) [2024-02-16]

Vattenkraft (2024). *Grindar*. [Grindar - vattenkraft.info - Vattenkraften i Sverige](#) [2024-02-29]

Villarino, M.B. (2008). *Ramanujan's Perimeter of an Ellipse*. [0506384.pdf \(arxiv.org\)](#) [2024-03-28]

Virtanen, M.I., Brinchmann, M.F., Patel, D.M., Iversen, M.H. (2023). Chronic stress negatively impacts wound healing, welfare and stress regulation in internally tagged Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Frontiers in Physiology*. 14.

<https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2023.1147235/full>
[2024-02-20]

VISS (u.å.). *Vattenkartan*. [Vattenkartan \(lansstyrelsen.se\)](https://vattenkartan.lansstyrelsen.se) [2024-04-08]

Vättern (u.å.). *Fisksjukdomar och parasiter*. [Fisksjukdomar och parasiter - Vättern \(vattern.org\)](https://vattern.org) [2024-01-24]

Willie Boats (u.å.). *Live Weight Fish Calculator*. [Live Weight Fish Calculator - Willie Boats](#)
[2024-03-28]

Wohl, E (2022). 6.01 - Introduction and Overview: Treatise on Fluvial Geomorphology. *Treatise on Geomorphology (Second Edition)*. 6.1, 1-4. [Introduction and Overview: Treatise on Fluvial Geomorphology - ScienceDirect](#) [2024-03-18]

WWF (2024a). *Biologisk mångfald*. [Biologisk mångfald | Världsnaturfonden WWF](#)
[2024-01-16]

WWF (2024b). *Fiske- och odlingsmetoder*. [Fiske- och odlingsmetoder - Världsnaturfonden WWF](#). [2024-02-18]

WWF (2024c). *Unikt innanhav*. [Unikt innanhav - Världsnaturfonden WWF](#) [2024-01-16]

WWF (2024d). *WWF och Fiske*. [WWF OCH FISKE - Världsnaturfonden WWF](#) [2024-01-16]

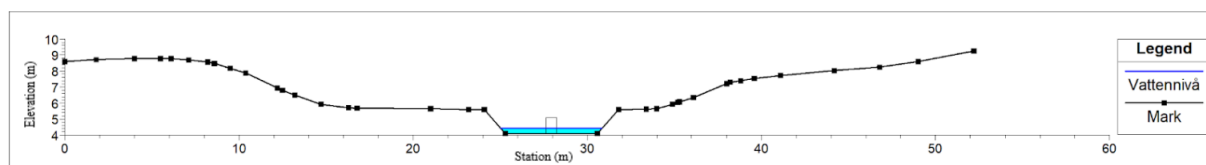
Östersjölaxälvar i samverkan (2023). *Östersjölaxen*. [Östersjölaxen — Östersjölaxälvar i samverkan \(ostersjolaxalvar.se\)](#) [2024-02-01]

Bilaga

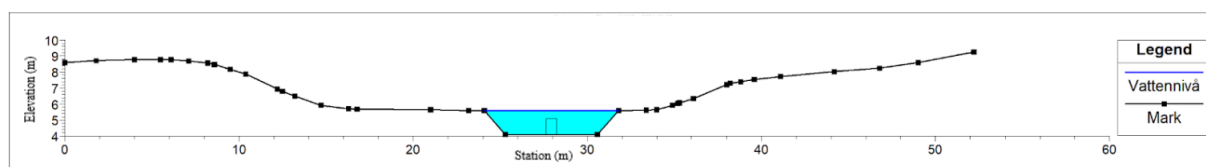
A Vattenstånd och flödes hastighet

A.1 Olika vattenstånd

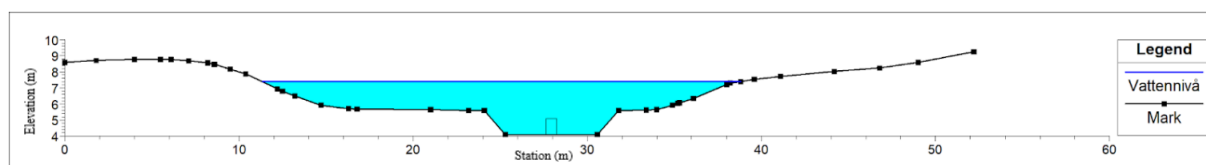
Olika vattenföringar som inmatningsparametrar resulterade i olika vattenstånd.



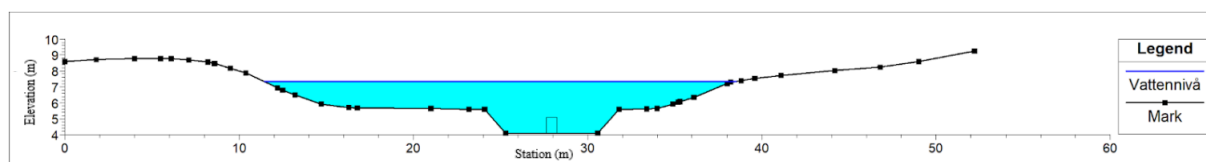
Figur A1. Vattenståndet för ett uppskattat tvärsnitt av Nybroån i Köpingsbro under MLQ-förhållande där fiskelekteringssystemet teoretiskt installerades som resulterade i en vattenhöjd på 0,338 meter. Den rektangulära formen i mitten symboliserar gången i fiskelekteringssystemet med ungefärliga proportioner mellan djup och bredd.



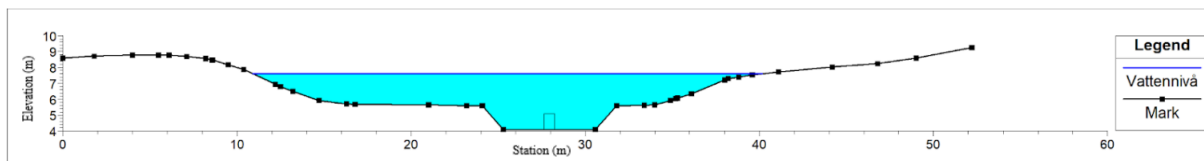
Figur A2. Vattenståndet för ett uppskattat tvärsnitt av Nybroån i Köpingsbro under MQ-förhållande där fiskelekteringssystemet teoretiskt installerades som resulterade i en vattenhöjd på 1,5 meter. Den rektangulära formen i mitten symboliserar gången i fiskelekteringssystemet med ungefärliga proportioner mellan djup och bredd.



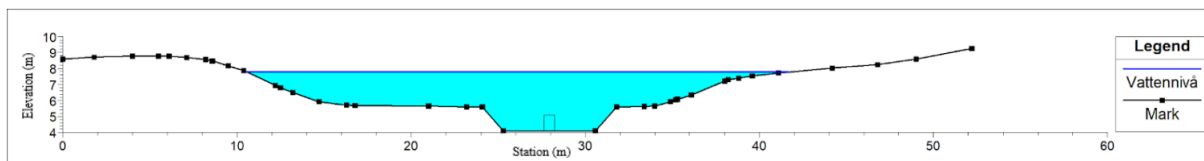
Figur A3. Vattenståndet för ett uppskattat tvärsnitt av Nybroån i Köpingsbro under MHQ-förhållande där fiskelekteringssystemet teoretiskt installerades som resulterade i en vattenhöjd på 3,31 meter. Den rektangulära formen i mitten symboliserar gången i fiskelekteringssystemet med ungefärliga proportioner mellan djup och bredd.



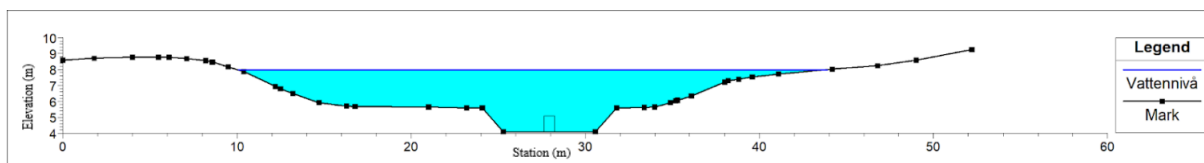
Figur A4. Vattenståndet för ett uppskattat tvärsnitt av Nybroån i Köpingsbro under HQ2-förhållande där fiskelekteringssystemet teoretiskt installerades som resulterade i en vattenhöjd på 3,26 meter. Den rektangulära formen i mitten symboliserar gången i fiskelekteringssystemet med ungefärliga proportioner mellan djup och bredd.



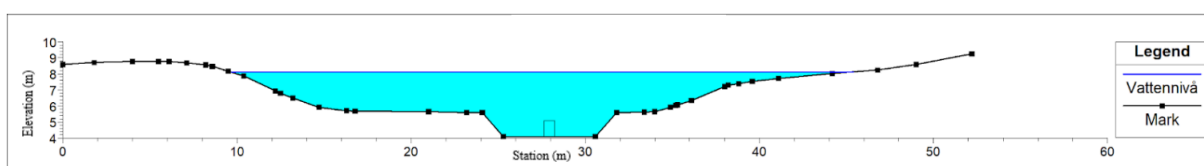
Figur A5. Vattenståndet för ett uppskattat tvärsnitt av Nybroån i Köpingsbro under HQ5-förhållande där fiskselekteringssystemet teoretiskt installerades som resulterade i en vattenhöjd på 3,53 meter. Den rektangulära formen i mitten symboliserar gången i fiskselekteringssystemet med ungefärliga proportioner mellan djup och bredd.



Figur A6. Vattenståndet för ett uppskattat tvärsnitt av Nybroån i Köpingsbro under HQ10-förhållande där fiskselekteringssystemet teoretiskt installerades som resulterade i en vattenhöjd på 3,71 meter. Den rektangulära formen i mitten symboliserar gången i fiskselekteringssystemet med ungefärliga proportioner mellan djup och bredd.



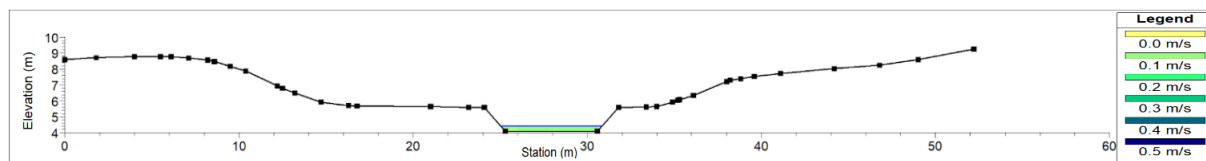
Figur A7. Vattenståndet för ett uppskattat tvärsnitt av Nybroån i Köpingsbro under HQ25-förhållande där fiskselekteringssystemet teoretiskt installerades som resulterade i en vattenhöjd på 3,91 meter. Den rektangulära formen i mitten symboliserar gången i fiskselekteringssystemet med ungefärliga proportioner mellan djup och bredd.



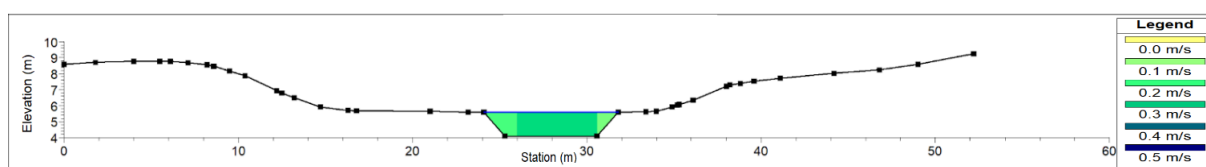
Figur A8. Vattenståndet för ett uppskattat tvärsnitt av Nybroån i Köpingsbro under HQ50-förhållande där fiskselekteringssystemet teoretiskt installerades som resulterade i en vattenhöjd på 4,04 meter. Den rektangulära formen i mitten symboliserar gången i fiskselekteringssystemet med ungefärliga proportioner mellan djup och bredd.

A.2 Olika flödeshastigheter

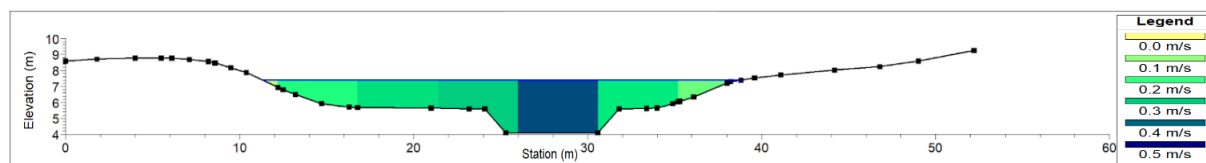
Olika vattenföringar som inmatningsparametrar resulterade i olika flödeshastigheter.



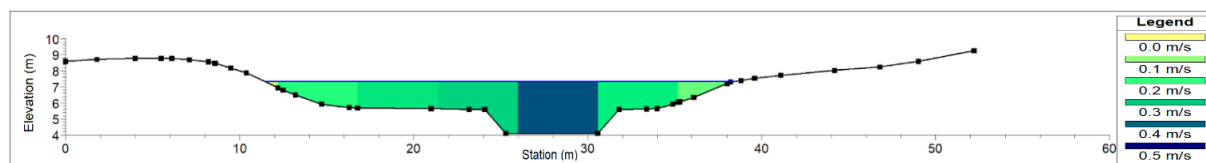
Figur A9. En flödeshastighetsprofil där fiskselekteringssystemet teoretiskt installerades i Nybroån, Köpingsbro under MLQ-förhållande som resulterade i en flödeshastighet på 0,11 m/s i större delen av fåran.



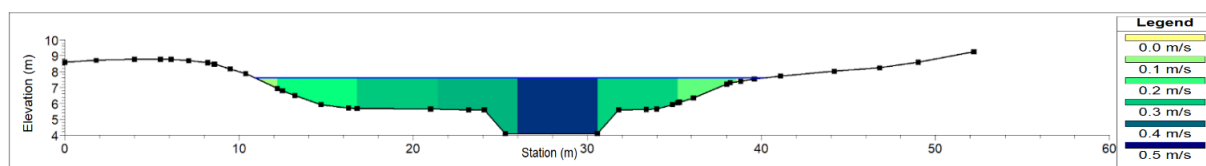
Figur A10. En flödeshastighetsprofil där fiskselekteringssystemet teoretiskt installerades i Nybroån, Köpingsbro under MQ-förhållande som resulterade i en flödeshastighet på 0,28 m/s i större delen av fåran.



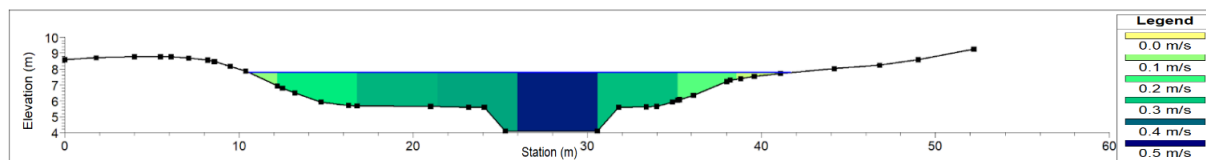
Figur A11. En flödeshastighetsprofil där fiskselekteringssystemet teoretiskt installerades i Nybroån, Köpingsbro under MHQ-förhållande som resulterade i en flödeshastighet på 0,43 m/s i större delen av fåran.



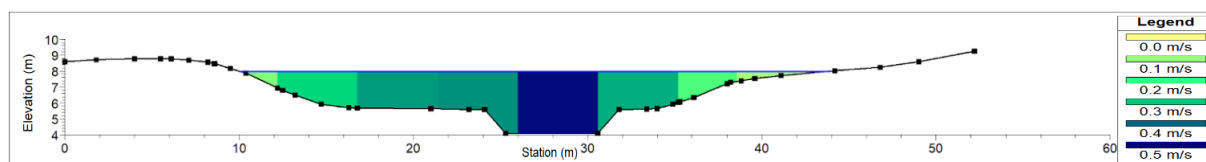
Figur A12. En flödeshastighetsprofil där fiskselekteringssystemet teoretiskt installerades i Nybroån, Köpingsbro under HQ2-förhållande som resulterade i en flödeshastighet på 0,42 m/s i större delen av fåran.



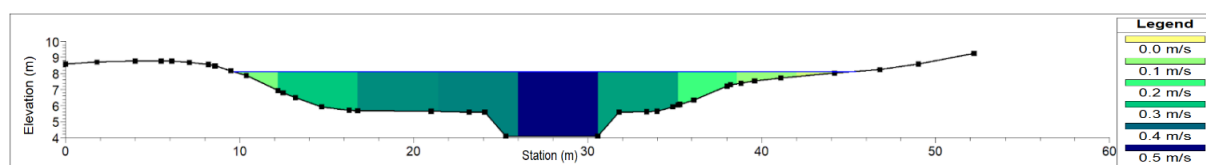
Figur A13. En flödeshastighetsprofil där fiskselekteringssystemet teoretiskt installerades i Nybroån, Köpingsbro under HQ5-förhållande som resulterade i en flödeshastighet på 0,45 m/s i större delen av fåran.



Figur A14. En flödeshastighetsprofil där fiskselekteringssystemet teoretiskt installerades i Nybroån, Köpingsbro under HQ10-förhållande som resulterade i en flödeshastighet på 0,47 m/s i större delen av fåran.



Figur A15. En flödeshastighetsprofil där fiskselekteringssystemet teoretiskt installerades i Nybroån, Köpingsbro under HQ25-förhållande som resulterade i en flödeshastighet på 0,49 m/s i större delen av fåran.

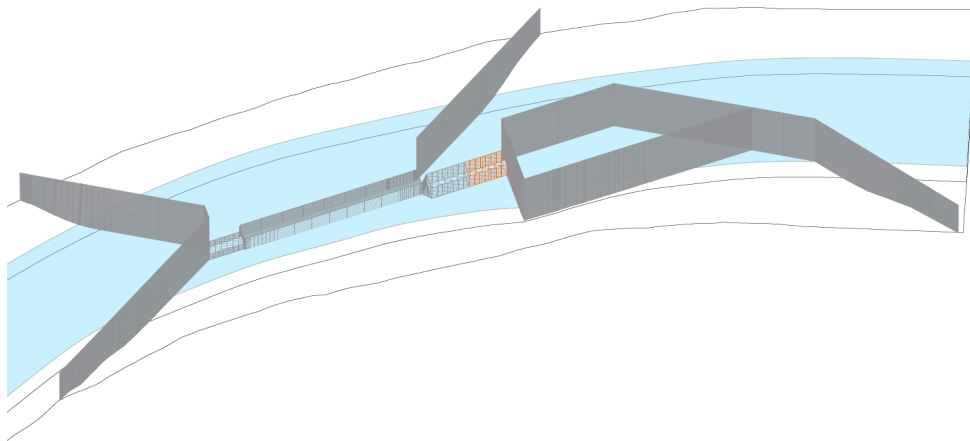


Figur A16. En flödeshastighetsprofil där fiskselekteringssystemet teoretiskt installerades i Nybroån, Köpingsbro under HQ50-förhållande som resulterade i en flödeshastighet på 0,50 m/s i större delen av fåran.

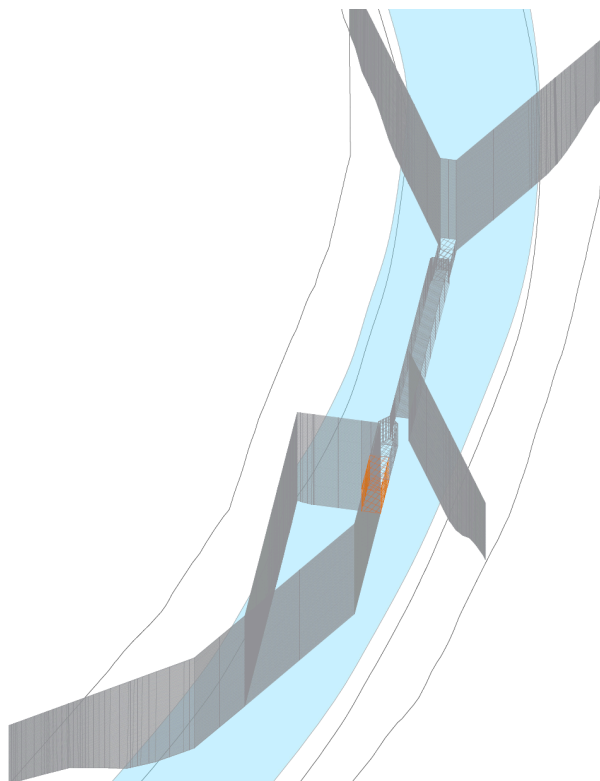
B Illustrationer i Civil 3D (CAD)

B.1 3D-figurer av fiskselekteringssystemet

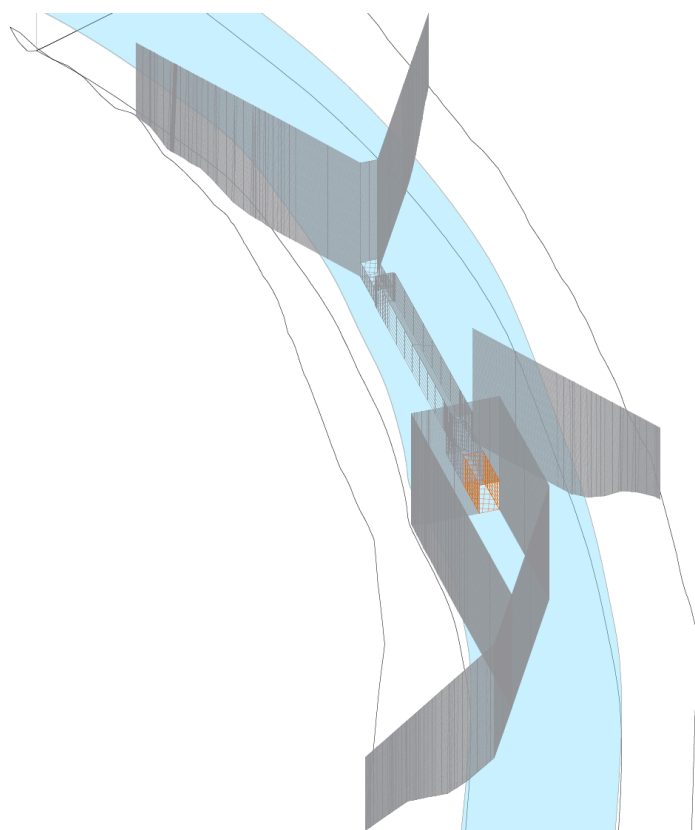
Olika tredimensionella vinklar på fiskselekteringssystemet.



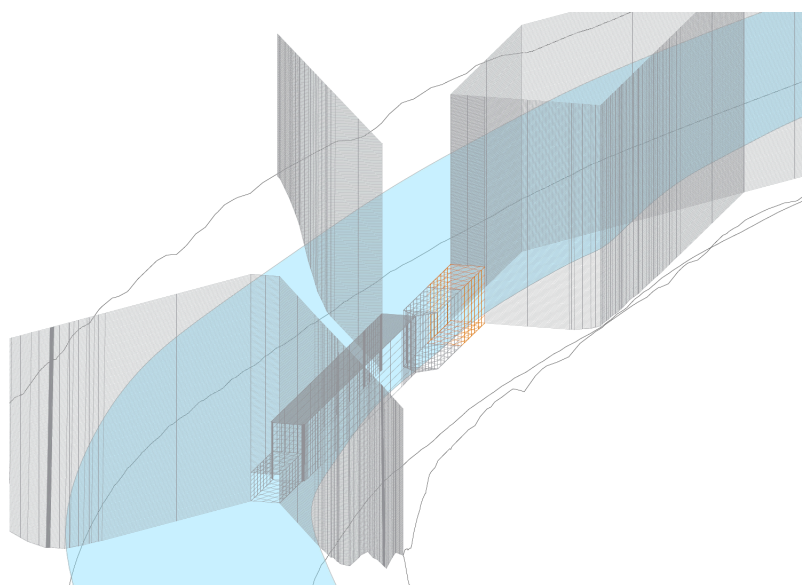
Figur B1. En 3D-bild av fiskselekteringssystemet.



Figur B2. En 3D-bild av fiskselekteringssystemet.



Figur B3. En 3D-bild av fiskselekteringssystemet.



Figur B4. En 3D-bild av fiskselekteringssystemet.

C Beräkningar

C.1 Batymetriska beräkningar

Enligt randvillkoren att toppbredden på ån var 7,72 meter och djupet var 1,5 meter kunde bottenbredden beräknas enligt *Ekvation C2* utifrån given fakta från *Ekvation C1*.

$$Area_{Kvadratisk\ geometri} = Bredd \cdot Höjd \quad (C1)$$

$$Area_{Kvadratisk\ geometri} = 7,70\,m \cdot 1,35\,m = 10,395\,m^2 \quad (C2)$$

Resultatet från *Ekvation C2* användes i *Ekvation C3* för att beräkna bottenbredden som resulterade i *Ekvation C4*.

$$Area_{Trapets\ geometri} = 2 \cdot \left(\frac{(\frac{Bredd}{2} - \frac{x}{2}) \cdot 1,5}{2} \right) + 1,5x = 10,395\,m^2 \quad (C3)$$

$$2 \cdot \left(\frac{(\frac{7,70}{2} - \frac{x}{2}) \cdot 1,5}{2} \right) + 1,5x = 10,395 \Rightarrow$$

$$\left(\frac{7,70-x}{2} \right) \cdot 1,5 + 1,5x = 10,395 \Rightarrow$$

$$5,775 - 0,75x + 1,5x = 10,395 \Rightarrow 0,75x = 4,62 \Rightarrow x = 6,16 \quad (C4)$$

C.2 Laxens omkrets

Ekvation 1 skrevs om för att möjliggöra uträkningen av omkretsen, vilket presenteras i *Ekvation C5*.

$$G = \left(\frac{M}{0,2012} \right)^{\frac{1}{2,72}} \quad (C5)$$

Ekvation 2 skrevs om för att möjliggöra uträkningen av omkretsen, vilket presenteras i *Ekvation C6*.

$$G = \sqrt{\frac{W \cdot 800}{L}} \quad (C6)$$

Ekvation C6 använder sig av amerikanska enheter vilket var viktigt att tänka på när värdena stoppades in för varje variabel för att få ett korrekt resultat. Innan beräkningen av omkretsen kunde utföras med *Ekvation C6* behövde en lax längd tas reda på eftersom att det är en parameter som saknas i ekvationen och denna information hämtades från studien av Petrell & Jones (2000) som presenterar en lax förhållande mellan längd och vikt, se *Ekvation C7*.

$$M = 0,0154L^{2,94} \quad (C7)$$

Omskrivning av *Ekvation C7* ger *Ekvation C8*.

$$L = \left(\frac{M}{0,0154}\right)^{\frac{1}{2,94}} \quad (C8)$$

L står för längd och M står för massa.

Eftersom vikten och längden är känd för den största potentiella laxen kunde omkretsen beräknas med hjälp av *Ekvation C5* och *C6*. En vikt på 50 kg stoppades in i *Ekvation C5* som gav ett resultat som kan ses i *Ekvation C9*.

$$G = \left(\frac{50000g}{0,2012}\right)^{\frac{1}{2,72}} = 96,29009783cm \approx 96 cm \quad (C9)$$

Eftersom *Ekvation C6* kräver amerikanska enheter behövde längden konverteras från SI-enheten centimeter till det amerikanska måttet inches. "Mass" behövde också konverteras från SI-enheten centimeter till det amerikanska måttet "lb" innan vikten stoppades in i ekvationen. En lax på 50 kg (110 lb) med en längd på 1,5 meter (59 inches) stoppades in i *Ekvation C6* och gav ett resultat som kan ses i *Ekvation C10*.

$$G = \sqrt{\frac{110 \cdot 800}{59}} \approx 38 in \Leftrightarrow \approx 97 cm \quad (C10)$$

C.3 Laxens höjd

Eftersom att *Ekvation 4* skulle substitueras in i *Ekvation 3* behövde *Ekvation 4* beräknas först. Med hjälp av antagandet att höjden är dubbla bredden kunde Ramanujans approximativa ellipseekvation förenklas genom att substituera ut a mot $2b$ som kan ses i *Ekvation C11*.

$$h = \frac{(2b-b)^2}{(2b+b)^2} \Rightarrow \frac{1b^2}{9b^2} \Rightarrow \frac{1}{9} \quad (C11)$$

Efter förenklingen kunde *Ekvation C11* stoppas in i *Ekvation 3* vilket resulterade i *Ekvation C12*. En förenkling av ekvationen kan ses i *Ekvation C13*.

$$O \approx \pi (2b + b) \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot (\frac{1}{9})}{10 + \sqrt{4 - 3 \cdot (\frac{1}{9})}}\right) \Rightarrow \quad (C12)$$

$$O \approx \pi (3b) \cdot \left(1 + \frac{(\frac{1}{3})}{10 + \sqrt{4 - (\frac{1}{3})}}\right) \Rightarrow$$

$$O \approx \pi (3b) \cdot 1,027976283 \Rightarrow$$

$$\frac{O}{3\pi \cdot 1,027976283} \approx b \Rightarrow$$

$$\frac{O}{3\pi \cdot 1,027976283} \approx b \Rightarrow$$

$$\frac{O}{3,083928849\pi} \approx b \quad (C13)$$

Ekvation C13 gav ett svar på b genom en omskalning av O men detta var alltså halva bredden eftersom enligt Ramanujans approximativa ellipsekvation var det radien av den korta sträckan i *Figur 13* som har beräknats. För att få hela bredden behövde detta tal multipliceras med två vilket gjordes i *Ekvation C14* och med en ytterligare förenkling ges *Ekvation C15*.

$$2 \cdot \frac{O}{3,083928849\pi} \approx \text{bredden} \Rightarrow \quad (C14)$$

$$0,2064314073 \cdot O \approx \text{bredden} \quad (C15)$$

Enligt antagandet att höjden var dubbelt så hög som bredden var bred multiplicerades *Ekvation C15* med två vilket gjordes i *Ekvation C16* och resulterade i *Ekvation C17*.

$$2 \cdot 0,2064314073 \cdot O \approx \text{höjden} \quad (C16)$$

$$0,4128628146 \cdot O \approx \text{höjden} \quad (C17)$$

Ekvation C15 och *C17* användes för att beräkna bredden respektive höjden för en lax med en omkrets på 96,5 cm vars resultat presenteras i *Ekvation C18* respektive *C19*.

$$0,2064314073 \cdot 96,5 \approx 20 \text{ cm} \quad (C18)$$

$$0,4128628146 \cdot 96,5 \approx 40 \text{ cm} \quad (\text{C19})$$

För att validera proportionerna för en Atlantlax undersöktes detta vidare genom att använda *Ekvation 5* från studien av Petrell & Jones (2000) som har ett förhållande mellan just vikt och höjd.

Genom en omskrivning av *Ekvation 5* kunde höjden brytas ut vilket syns i *Ekvation C20*.

$$H = \left(\frac{M}{4,043}\right)^{\frac{1}{2,55}} \quad (\text{C20})$$

Massan angiven i gram kunde stoppas in i *Ekvation C20* som resulterade i värdet som kan ses i *Ekvation C21*.

$$H = \left(\frac{50000g}{4,043}\right)^{\frac{1}{2,55}} \approx 40 \text{ cm} \quad (\text{C21})$$

C.4 Formen på gången

För att bedöma materiallåtgången behövde omkretsen för de båda formerna beräknas vilket gjordes med hjälp av *Ekvation C22* för cylindern och *Ekvation C23* för den kvadratiske formen. Tvärsnittsarean beräknades även för att få en uppskattning över hur materiallåtgången korrelerar till tvärsnittsarean. Ekvationen för tvärsnittsarean för den cylindriska och kvadratiske formen kan ses i *Ekvation C24 respektive C25*.

$$O_c = D \cdot \pi \quad (\text{C22})$$

$$O_r = 2x + 2y \quad (\text{C23})$$

$$A_c = r^2 \cdot \pi \quad (\text{C24})$$

$$A_r = x \cdot y \quad (\text{C25})$$

O står för omkrets, D står för diametern, x är den längre sträckan av kvadraten (djupet i det här fallet), y är den kortare sträckan av kvadraten (bredden i det här fallet) och r är radien av cylindern. Underliggande bokstäver c och r står för cylinder respektive rektangel.

Enligt ekvationerna ovan kunde ett gränsvärde för omkretsen samt tvärsnittsarean beräknas som hjälpte till att ge en förståelse mellan materialåtgången och tvärsnittsarean för de olika formerna. För att hitta ett gränsvärde för de olika formernas omkrets sattes *Ekvation C22* lika med *Ekvation C23* som presenteras i *Ekvation C26* och resulterar i *Ekvation C27* efter beräkning. Eftersom att D är lika med djupet i det här fallet kunde D ersättas med x .

$$O_r = O_c \Leftrightarrow 2x + 2y = x \cdot \pi \Rightarrow \quad (C26)$$

$$x + y = \frac{x\pi}{2} \Rightarrow$$

$$\frac{x}{x} + \frac{y}{x} = \frac{x\pi}{2x} \Rightarrow$$

$$1 + \frac{y}{x} = \frac{\pi}{2} \Rightarrow$$

$$\frac{y}{x} = \frac{\pi}{2} - 1 \Rightarrow$$

$$\frac{y}{x} = \frac{1}{(\frac{\pi}{2})-1} = 1,751938394... \approx 1,75 \quad (C27)$$

Ekvation C27 ger värdet 1,75 vilket betyder att om $\frac{x}{y} > 1,75$ är materialåtgången för den cylindriska formen större än för den rektangulära formen och vice versa.

För att hitta ett gränsvärde för tvärsnittsytan mellan formerna sattes *Ekvation C24* lika med *Ekvation C25* vilket presenteras i *Ekvation C29* och resulterar i *Ekvation C30*. Samma som för omkretsen ersattes beteckningen D med x men eftersom att denna ekvation behöver radien och inte diametern behövde uttrycket divideras med två vilket presenteras i *Ekvation C28*.

$$A_c = \left(\frac{x}{2}\right)^2 \cdot \pi \quad (C28)$$

Efter substitueringen och omskrivningen kunde tvärsnittsareorna för respektive form sättas lika med varandra.

$$A_r = A_c \Leftrightarrow x \cdot y = \left(\frac{x}{2}\right)^2 \cdot \pi \Rightarrow \quad (C29)$$

$$x \cdot y = \frac{x^2}{2^2} \cdot \pi \Rightarrow$$

$$4xy = x^2 \cdot \pi \Rightarrow$$

$$4y = x\pi \Rightarrow$$

$$\frac{x}{y} = \frac{4}{\pi} = 1,273239545... \approx 1,27 \quad (C30)$$

Ekvation C30 gav värdet 1,27 vilket betyder att om $\frac{x}{y} > 1,27$ är tvärsnittsarean för den cylindriska formen större än för den rektangulära formen och vice versa.

Ekvation C27 och *Ekvation C30* slogs ihop och gav sambandet att om $1,27 < \frac{x}{y} < 1,75$ är materialåtgången för cylindern mindre trots en större tvärsnittsarea. Om $\frac{x}{y} < 1,27$ är materialåtgången för cylindern mindre och tvärsnittsarean för den kvadratiske formen större. Om $\frac{x}{y} > 1,75$ är materialåtgången för den kvadratiske formen mindre och tvärsnittsarean för den cylindriska formen större.

Manövreringsmånen enligt *Ekvation 6* och *7* stoppades in för den största potentiella laxen vilket resulterade i *Ekvation C31*.

$$\frac{\text{Höjden} \cdot 2,5}{\text{Höjden} \cdot 1,5} = \frac{2,5}{1,5} = 1,666666667 \approx 1,67 \quad (C31)$$

C.5 Storlek på fiskreservoaren

Vid beräkandet av fiskreservoarens volym valdes det att separera den triangelformade delen och den kvadratiske delen för att sedan beräkna volymerna var för sig och efter det adderades respektive värde ihop för att få en totalvolym av fiskreservoaren.

För att separera de geometriska delarna av reservoaren drogs ett horisontellt streck vid 4,5 meters längd från reservoarens start vilket frambringade en kvadratisk form direkt efter ryssjan och en triangulär form längst uppströms. Volymekvationer för en kvadrat och triangel användes vilket kan ses i *Ekvation C43* och *C44*.

$$Volym_{Kvadrat} = H \cdot B \cdot D \quad (C43)$$

$$Volym_{Triangel} = \frac{H \cdot B}{2} \cdot D \quad (C44)$$

Längden på kvadraten var 4,5 meter och bredden var hälften av åns bottenbredd tills sluttningen av åbanken började vilket var 2,64 meter (hälften av 5,28 meter). Volymen av den kvadratiske formen presenteras i *Ekvation C45* vars värde varierar med djupet.

$$Volym_{Kvadrat} = 4,5 \cdot 2,64 \cdot D = 11,88D \quad (C45)$$

För att beräkna volymen för triangeln behövde först längden beräknas vilket gjordes i *Ekvation C47* med hjälp av ett samband som kan ses i *Ekvation C46*.

$$\tan(v) = \frac{\text{Motstående katet}}{\text{Närliggande katet}} \quad (C46)$$

$$\text{Motstående katet} = \tan(60) \cdot 2,64 \approx 4,6 \quad (C47)$$

Resultatet från *Ekvation C47* användes i *Ekvation C48* för att få ett volymvärde för den triangulära delen av reservoaren.

$$Volym_{Triangel} = \frac{4,6 \cdot 2,64}{2} \cdot D \approx 6,04D \quad (C48)$$

För att få den totala volymen för hela reservoaren adderades volymerna ihop för den kvadratiske och triangulära delen vilket visas i *Ekvation C49*.

$$V_{TOT} = Volym_{Kvadrat} + Volym_{Triangel} = 11,88D + 6,04D = 17,92D \quad (C49)$$

För att få fram den totala volymen av fiskreservoaren för de olika vattenstånden behövde djupet för respektive vattenstånd multipliceras med *Ekvation C49*. För att beräkna djupet för respektive vattenstånd användes HEC-RAS.

Ekvation C49 som beskriver volymen i reservoaren under olika vattenstånd användes även för att uppskatta hur många fiskar som borde vistas i reservoaren samtidigt genom att dividera reservoarvolymen med volymkraven från *Ekvation 9* för respektive längd. Dessa resultat presenteras i 4.7.2 *Antalet fiskar i reservoaren*.

C.6 Prisberäkning av gången

Gångens längd är 7 meter och gången efter klaffluckan är 1,5 meter. Höjden av gången är en meter och bredden på gången är 0,6 meter. Gången är av solitt material på botten och sidorna

medan toppen består av ett hydrauliskt fingaller. Geometriska beräkningar gjordes i *Ekvation C50, C51 och C52* för att få fram gångens totala area.

$$Area_{2\text{ sidor}} = 8,5m \cdot 1,0m \cdot 2\text{sidor} = 17m^2 \quad (C50)$$

$$Area_{\text{Botten}} = 8,5 \cdot 0,6 \cdot 1\text{sida} = 5,1m^2 \quad (C51)$$

$$Total_{\text{Area}} = 17m^2 + 5,1m^2 \approx 22m^2 \quad (C52)$$

För att koppla ihop den första gången med AI-fiskräknaren och den kortare gången efter klaffluckan med ryssjan behövdes extra material till kopplingsanordningen. Detta uppskattades att behöva vara cirka $3m^2$ vilket ger en total area på cirka $25m^2$.

Eftersom att gången inte blir utsatt för något ovanliggande tryck utöver vattentrycket kunde tjockleken av stålet bestämmas att vara tunt men ändå tillräckligt tjockt för att tåla smällar av fiskar och skräp som kan passera i gången. En uppskattning på 5 mm ansågs som en tillräcklig tjocklek för gången eftersom det antogs att det hydrauliska fingallret avleder skräp som kan utföra den typen av påfrestningar i ett tidigare skede och att smällar av fiskar är så sällsynta.

$$Volym_{\text{Metall}} = 25m^2 \cdot 0,005m = 0,125m^3 = 125dm^3 \quad (C53)$$

Densiteten för rostfritt stål är $7,9kg/dm^3$ vilket innebär att metallvolymen uppgår till cirka ett ton som visas i *Ekvation C54*.

$$125dm^3 \cdot 7,9kg/dm^3 \approx 1000kg \quad (C54)$$

Kostnaden för det rostfria stålet var cirka 70 kr/kg vilket innebär att priset blev cirka 70 000 kr för en icke ihopsvetsad gång. Eftersom denna beräkning är väldigt approximativ beräknades inte kostnaden för svetsningen då den anses vara försumbar i sammanhanget.

C.7 Prisberäkning av det hydrauliska fingallret

Arean för hela gallret uppskattades med hjälp av Civil 3D att vara cirka $210m^2$ och med ett uppskattat pris (inklusive installationskostnad) på $10.000kr/m^2$ efter konsultation med Fiskevårdsteknik AB innebar det en totalkostnad på 2 100 000 kr.

D Mannings tal

D.1 Värden på Mannings tal

Tabell D1. Värden på Mannings tal utifrån en beskaffenhetsskala och olika hinder i vattendraget.

VBB VKR - HYDRAULIK	FÖRLUSTER I ÖPPNA LEDNINGAR MANNINGS TAL M		HY 423 UDK 532.543 REF. (202) 1978-12-04		
Ytans beskaffenhet =		Mycket god	God	Tämligen god	Dålig
<u>Rännor av trä</u>					
Hyvlade	100	83	77	72	
Ohyvlade	91	77	72	67	
Med läkt	83	67	63		
<u>Rännor av metall</u>					
Halvcirkulära. Jämna	91	83	77	67	
Halvcirkulära. Korrugerade	47	40	36	33	
<u>Rännor och kanaler med yta av</u>					
Betong	83	72	63	56	
Sten satt i betong	59	50	40	33	
Stenfyllning	40	33	30	29	
Kvadersten	77	72	67	59	
Asfalt					
<u>Kanaler</u>					
Jord, raka och likformiga	59	50	44	40	
Sprängsten, jämn, regelbunden	40	33	30	29	
Sprängsten, ojämn	29	25	22		
Vindlande, trögflytande	45	40	36	33	
Muddrade jordkanaler	40	36	33	30	
Ojämn stenbotten, bevuxna bankar	40	33	29	25	
Jordbotten, stenfylln.bank	36	33	30	29	
<u>Naturliga vattendrag</u>					
(1) Rena, raka bankar, inga gropar	40	36	33	30	
(2) Som (1) men med vass och stenblock	33	30	29	25	
(3) Vindlande, en del gropar och grund	30	29	25	22	
(4) Som (3), lägre vattenstånd	25	22	20	18	
(5) Som (3), vass och stenar	29	25	22	20	
(6) Som (4), steniga avsnitt	22	20	18	17	
(7) Trögflytande, vass, djupa hålor	20	17	14	13	
(8) Mycket vassiga avsnitt	13	10	8	7	

LRn/KRL

E Excel

E.1 Månatliga flödesdata

Tabell E1. Månatliga flödesdata från 2010-2022 samt vattendragstemperatur. Datan presenterar värden för Nybroåns delavrinningsområde och är hämtad från S-HYPE (SMHI 2023a).

Datum	Total vattenföring [m³/s]	Total stationskorrigerad vattenföring [m³/s]	Total naturlig vattenföring [m³/s]	Lokal vattenföring [m³/s]	Vattendragstemperatur [°C]
2010-01	2,43	2,43	2,43	0,228	0,2
2010-02	2,14	2,14	2,14	0,246	0,3
2010-03	6,55	6,55	6,55	0,593	2,1
2010-04	1,64	1,64	1,64	0,121	7,0
2010-05	0,750	0,750	0,750	0,055	10,5
2010-06	0,510	0,510	0,510	0,032	14,9
2010-07	0,251	0,251	0,251	0,014	19,9
2010-08	0,697	0,697	0,697	0,062	17,3
2010-09	0,646	0,646	0,646	0,050	12,8
2010-10	1,16	1,16	1,16	0,070	7,7
2010-11	10,0	10,0	10,0	1,00	5,7
2010-12	3,19	3,19	3,19	0,331	0,2
2011-01	6,49	6,49	6,49	0,745	1,7
2011-02	9,11	9,11	9,11	0,852	1,6
2011-03	3,20	3,20	3,20	0,211	2,8

2011-04	1,29	1,29	1,29	0,094	9,3
2011-05	0,593	0,593	0,593	0,046	11,8
2011-06	0,425	0,425	0,425	0,029	16,3
2011-07	2,06	2,06	2,06	0,149	17,2
2011-08	4,78	4,78	4,78	0,438	16,1
2011-09	1,57	1,57	1,57	0,115	13,6
2011-10	0,720	0,720	0,720	0,057	8,9
2011-11	0,396	0,396	0,396	0,027	5,9
2011-12	4,91	4,91	4,91	0,426	4,3
2012-01	7,48	7,48	7,48	0,734	2,5
2012-02	3,99	3,99	3,99	0,388	1,0
2012-03	1,41	1,41	1,41	0,110	5,5
2012-04	0,905	0,905	0,905	0,062	6,5
2012-05	1,22	1,22	1,22	0,108	12,3
2012-06	0,755	0,755	0,755	0,069	14,1
2012-07	0,765	0,765	0,765	0,055	17,2
2012-08	0,422	0,422	0,422	0,029	17,2
2012-09	0,457	0,457	0,457	0,032	13,6
2012-10	1,83	1,83	1,83	0,081	8,2
2012-11	4,22	4,22	4,22	0,365	6,1
2012-12	6,40	6,40	6,40	0,671	1,9

2013-01	5,42	5,42	5,42	0,523	1,7
2013-02	5,27	5,27	5,27	0,524	0,9
2013-03	1,57	1,57	1,57	0,131	0,7
2013-04	2,27	2,27	2,27	0,203	5,7
2013-05	0,671	0,671	0,671	0,057	12,5
2013-06	0,511	0,511	0,511	0,039	16,3
2013-07	0,317	0,317	0,317	0,021	18,7
2013-08	0,280	0,280	0,280	0,018	17,8
2013-09	0,243	0,243	0,243	0,012	13,2
2013-10	0,792	0,792	0,792	0,052	10,4
2013-11	4,14	4,14	4,14	0,292	6,2
2013-12	4,98	4,98	4,98	0,482	4,7
2014-01	5,62	5,62	5,62	0,550	2,8
2014-02	4,33	4,33	4,33	0,408	3,2
2014-03	1,72	1,72	1,72	0,140	5,6
2014-04	1,33	1,33	1,33	0,108	8,5
2014-05	0,730	0,730	0,730	0,061	12,6
2014-06	0,385	0,385	0,385	0,028	15,9
2014-07	0,485	0,485	0,485	0,038	19,9
2014-08	0,632	0,632	0,632	0,055	17,2
2014-09	0,690	0,690	0,690	0,043	14,6

2014-10	4,84	4,84	4,84	0,378	11,9
2014-11	1,61	1,61	1,61	0,109	7,5
2014-12	8,26	8,26	8,26	0,827	3,9
2015-01	7,84	7,84	7,84	0,766	3,4
2015-02	2,96	2,96	2,96	0,252	2,3
2015-03	1,97	1,97	1,97	0,163	4,9
2015-04	2,21	2,21	2,21	0,177	7,9
2015-05	0,884	0,884	0,884	0,068	10,9
2015-06	0,537	0,537	0,537	0,037	14,3
2015-07	0,300	0,300	0,300	0,018	17,1
2015-08	0,202	0,202	0,202	0,011	18,0
2015-09	0,363	0,363	0,363	0,018	13,8
2015-10	0,211	0,211	0,211	0,009	9,4
2015-11	4,83	4,83	4,83	0,365	7,6
2015-12	6,43	6,43	6,43	0,601	6,2
2016-01	5,62	5,62	5,62	0,574	1,5
2016-02	5,39	5,39	5,39	0,490	3,0
2016-03	1,98	1,98	1,98	0,170	4,4
2016-04	1,47	1,47	1,47	0,109	7,4
2016-05	1,14	1,14	1,14	0,089	13,2
2016-06	0,478	0,478	0,478	0,040	17,1

2016-07	0,605	0,605	0,605	0,044	18,0
2016-08	0,348	0,348	0,348	0,022	16,8
2016-09	0,220	0,220	0,220	0,015	15,9
2016-10	1,74	1,74	1,74	0,076	9,0
2016-11	6,48	6,48	6,48	0,546	5,2
2016-12	2,05	2,05	2,05	0,164	3,5
2017-01	1,99	1,99	1,99	0,178	1,3
2017-02	3,96	3,96	3,96	0,381	1,9
2017-03	3,88	3,88	3,88	0,361	4,6
2017-04	1,51	1,51	1,51	0,107	7,1
2017-05	0,821	0,821	0,821	0,063	12,4
2017-06	0,938	0,938	0,938	0,070	16,0
2017-07	0,945	0,945	0,945	0,058	16,5
2017-08	0,789	0,789	0,789	0,041	17,0
2017-09	4,20	4,20	4,20	0,314	13,9
2017-10	4,54	4,54	4,54	0,414	10,8
2017-11	5,35	5,35	5,35	0,516	6,2
2017-12	6,08	6,08	6,08	0,568	4,3
2018-01	6,04	6,04	6,04	0,564	3,0
2018-02	3,41	3,41	3,41	0,294	1,1
2018-03	5,86	5,86	5,86	0,605	1,3

2018-04	3,67	3,67	3,67	0,331	8,0
2018-05	0,608	0,608	0,608	0,045	15,1
2018-06	0,341	0,341	0,341	0,023	18,3
2018-07	0,223	0,223	0,223	0,014	20,8
2018-08	0,300	0,300	0,300	0,022	19,2
2018-09	0,186	0,186	0,186	0,012	14,7
2018-10	0,274	0,274	0,274	0,015	9,6
2018-11	0,258	0,258	0,258	0,011	5,4
2018-12	2,00	2,00	2,00	0,092	3,4
2019-01	3,83	3,83	3,83	0,345	1,9
2019-02	5,05	5,05	5,05	0,473	3,7
2019-03	6,44	6,44	6,44	0,608	5,4
2019-04	0,824	0,824	0,824	0,065	8,3
2019-05	0,613	0,613	0,613	0,038	11,4
2019-06	0,741	0,741	0,741	0,051	17,9
2019-07	0,583	0,583	0,583	0,043	18,1
2019-08	0,354	0,354	0,354	0,024	18,4
2019-09	0,437	0,437	0,437	0,034	14,0
2019-10	0,942	0,942	0,942	0,062	9,4
2019-11	2,38	2,38	2,38	0,116	6,3
2019-12	4,62	4,62	4,62	0,421	4,6

2020-01	4,64	4,64	4,64	0,449	4,6
2020-02	6,70	6,70	6,70	0,603	5,0
2020-03	3,14	3,14	3,14	0,266	5,0
2020-04	0,660	0,660	0,660	0,052	8,6
2020-05	0,369	0,369	0,369	0,026	11,5
2020-06	0,272	0,272	0,272	0,016	17,4
2020-07	0,227	0,227	0,227	0,011	16,7
2020-08	0,144	0,144	0,144	0,006	18,8
2020-09	0,296	0,296	0,296	0,021	14,6
2020-10	0,679	0,679	0,679	0,042	10,4
2020-11	0,641	0,641	0,641	0,031	7,3
2020-12	1,01	1,01	1,01	0,031	3,9
2021-01	8,13	8,13	8,13	0,701	2,2
2021-02	3,46	3,46	3,46	0,319	1,5
2021-03	3,31	3,31	3,31	0,289	4,1
2021-04	1,62	1,62	1,62	0,125	6,4
2021-05	1,80	1,80	1,80	0,149	10,7
2021-06	0,511	0,511	0,511	0,043	18,1
2021-07	0,457	0,457	0,457	0,033	20,0
2021-08	0,421	0,421	0,421	0,028	16,3
2021-09	0,806	0,806	0,806	0,059	14,5

2021-10	2,27	2,27	2,27	0,098	10,3
2021-11	3,73	3,73	3,73	0,275	7,1
2021-12	7,62	7,62	7,62	0,730	3,1
2022-01	4,79	4,79	4,79	0,455	3,3
2022-02	9,47	9,47	9,47	0,934	3,8
2022-03	1,57	1,57	1,57	0,119	4,4
2022-04	2,62	2,62	2,62	0,208	7,0
2022-05	0,712	0,712	0,712	0,058	12,6
2022-06	0,590	0,590	0,590	0,042	16,5
2022-07	0,335	0,335	0,335	0,021	17,9
2022-08	0,171	0,171	0,171	0,010	19,0
2022-09	0,287	0,287	0,287	0,021	13,9
2022-10	0,309	0,309	0,309	0,021	11,3
2022-11	0,358	0,358	0,358	0,023	7,0
2022-12	2,10	2,10	2,10	0,101	2,0

E.2 Dagliga flödesdata för oktober månad 2013

Tabell E2. Dagliga flödesdata från oktober 2013 samt vattendragstemperatur. Datan presenterar värden för Nybroåns delavrinningsområde och är hämtad från S-HYPE (SMHI 2023a).

Datum	Total vattenföring [m³/s]	Total stationskorrigerad vattenföring [m³/s]	Total naturlig vattenföring [m³/s]	Lokal vattenföring [m³/s]	Vattendragstemperatur [°C]
2013-10-01	0,168	0,168	0,168	0,006	9,6
2013-10-02	0,162	0,162	0,162	0,006	9,2
2013-10-03	0,154	0,154	0,154	0,006	9,2
2013-10-04	0,201	0,201	0,201	0,010	9,6
2013-10-05	0,170	0,170	0,170	0,006	10,4
2013-10-06	0,152	0,152	0,152	0,005	11,3
2013-10-07	0,143	0,143	0,143	0,005	11,9
2013-10-08	0,138	0,138	0,138	0,005	12,1
2013-10-09	0,138	0,138	0,138	0,005	12,7
2013-10-10	0,136	0,136	0,136	0,005	12,0
2013-10-11	0,132	0,132	0,132	0,005	12,0
2013-10-12	0,130	0,130	0,130	0,004	11,4
2013-10-13	2,26	2,26	2,26	0,223	10,9
2013-10-14	1,22	1,22	1,22	0,050	10,4
2013-10-15	0,677	0,677	0,677	0,034	10,3
2013-10-16	0,515	0,515	0,515	0,030	9,7
2013-10-17	0,777	0,777	0,777	0,061	9,7
2013-10-18	0,669	0,669	0,669	0,040	7,9
2013-10-19	0,717	0,717	0,717	0,044	6,4
2013-10-20	0,871	0,871	0,871	0,059	7,8

2013-10-21	3,06	3,06	3,06	0,270	9,4
2013-10-22	2,31	2,31	2,31	0,125	10,8
2013-10-23	1,54	1,54	1,54	0,084	11,8
2013-10-24	1,12	1,12	1,12	0,068	11,5
2013-10-25	0,944	0,944	0,944	0,061	10,4
2013-10-26	0,862	0,862	0,862	0,056	11,3
2013-10-27	0,799	0,799	0,799	0,052	11,9
2013-10-28	1,04	1,04	1,04	0,075	11,8
2013-10-29	1,10	1,10	1,10	0,067	10,9
2013-10-30	1,05	1,05	1,05	0,063	9,9