

# Vurdering av omløpskanal ved Anundsjö kraftverk

**Johan Pettersson**

Hydropower Development

Innlevert: juni 2016

Hovedveileder: Knut Alfredsen, IVM

Medveileder: Morten Stickler, Statkraft

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vann- og miljøteknikk





**M.Sc. THESIS IN**  
**HYDROPOWER DEVELOPMENT**

**Kandidat: Johan Petterson**

**Tittel: Vurdering av omløpskanal ved Anundsjö kraftverk.**

**1 BAKGRUNN**

Fragmentering av elvestrekningar er ei sentral utfordring ved bygging av kraftverk og reguleringsmagasin i elver. Dette har både fysiske og biologiske effekter, og i elver med vandrende fisk er ofte både opp- og nedvandring av fisk utfordring i samband med konstruksjonar i vassdrag. Ulike tiltak er brukt for å bøte på dette problemet, der det mest vanlege er fisketrapper. I nokre tilfelle er det bygd meir elvelike omløpskanalar som ein håper skal bedre funksjon enn tradisjonelle trapper i og med at dei har ei meir naturleg utforming. Men omløp kan og ha utfordringar som er dei same som tradisjonelle trapper, t.d. plassering i elva og utforminga kan og vere ei utfordring i bratt terreng. Det er difor naudsynt å skaffe meir informasjon om omløp og korleis dei kan brukast i praksis.

Eit omløp for fiskevandring er bygd ved Mo kraftverk i Sverige, og målet med denne oppgåva er å vurdere funksjonen av dette samt foreslå eventuelle endringar og justeringar.

**2 HOVUDMÅL MED OPPGÅVA**

1. Gjennomføre ei litteraturstudie på fisk og omløpskanalar. Kva utforming ligg til grunn for slike anlegg og kva er erfaringane med slike?
2. Det skal gjerast ei teknisk vurdering av omløpskanalen ved Anundsjö kraftverk. Faktorar som er viktige er plassering, utforming, innløp, utløp, vassføringsforhold og struktur.
3. Det skal lagast ein hydraulisk modell av omløpet. Val av modell skal gjerast som ein del av oppgåva. Basert på modellresultat skal funksjonen av omløpet vurderast mot det som er funne i 1 og 2. Basert på modellering av hydrauliske tilhøve i omløpet skal det vurderast om eventuelle endringar kan bedre funksjonen? Korleis stemmer den teoretiske utforminga med den som er bygd?

4. Vurder løysinga for smoltpassasje ved Anundsjö kraftverk. Funksjon og plassering skal evaluerast.
5. Basert på funn i 1 – 4 skal det utarbeidast ein tiltaksplan for omløpet. Denne kan innehalde forslag til forbedringer av omløpet og nærliggende vandringshindre.
6. Funna i oppgåva kan brukast for å tilpasse framtidige omløp gjennom å systematisere kva ein må vere oppmerksom på ved bygging og kva ein må passe på ved drift. Det skal difor utarbeidast:
  - a. sjekkliste for design av omløp
  - b. utarbeidelse av kontrollprogram for bygde omløp.

### **3 RETTLEIING, DATA OG INFORMASJON**

Faglærer vert professor Knut Alfredsen ved institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU. Morten Stickler ved Statkraft er ansvarleg for prosjektet i Statkraft, og vil fungere som medrettleiar. Kandidaten er elles ansvarleg for innsamling, kontroll og bruk av data. Hjelp frå ovannemnde eller andre må refererast i rapporten.

### **4 RAPPORT**

Struktur og oppsett av rapporten er viktig. Gå utifrå at det målgruppa er teknisk personell på seniornivå. Rapporten skal innehalde eit samandrag som gir lesaren informasjon om bakgrunn, framgangsmåte og hovudresultata. Rapporten skal ha innhaldsliste og referanseliste. Referanselista skal vere formatert etter ein eksisterande standard.

Denne oppgåveteksta skal vere inkludert i rapporten.

Data som er samla inn skal dokumenterast og leverast på digital form.

Denne oppgåveteksta skal vere inkludert i rapporten.

Formatet på rapporten skal følgje standarden ved NTNU. Alle figurar, kart og bilete som er inkludert i rapporten skal vere av god kvalitet.

Kandidaten skal inkludere ei signert fråsegn som seier at arbeidet som er presentert er eins eige, og at alle bidrag frå andre kjelder er identifiserte gjennom referansar eller på andre måtar.

The thesis shall be submitted no later than 10<sup>th</sup> of June 2016.

Trondheim 15<sup>th</sup> of January 2016

---

Knut Alfredsen

Professor

## Förord

Det här examensarbetet skrevs på uppdrag av Statkraft Sverige och markerar slutet på masterutbildningen Hydropower development vid institutet för vatten- och miljöteknik (Institutt for vann- og miljøteknikk) vid Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

Det här arbetet hade inte varit möjligt om det inte vore för de personer som har hjälpt mig och stöttat mig under projektets gång. Därför går ett stort tack till följande personer:

Min handledare Knut Alfredsén på NTNU för vägledning och support genom hela projektet.

Morten Stickler på Statkraft som initierade det här examensarbetet och som har kommit med konstruktiv kritik och vägledning under hela projektet samt hjälp med modelleringen i River2D.

Angela Odelberg på Statkraft Sverige som hjälpte mig med fältstudierna uppe i Sollefteå.

Ola Hammarberg på VDM AB som har hjälpt mig att mäta in alla punkterna i omlöpet.

Statkraft Sverige för ekonomisk stöttning under vistelsen i Sollefteå.

Olle Calles på Karlstad Universitet som har hjälpt mig att hitta relevant litteratur och svarat på mina frågor om fiskvandring i projektets inledande fas.



## Sammanfattning

Den 2:a september 2015 invigdes fiskeomløpet ved Anundsjö kraftverk efter en byggtid på 2 år, till en kostnad av 20 miljoner kronor. Omløpet byggdes på bakgrund av att kraftverket år 2010 fick sin vattendom omprøvad av Kammarkollegiet i Sverige. Resultatet av domen blev att Statkraft, som är ägaren till kraftverket, skulle anlägga ett 450 meter långt omløp för uppstrøms vandring och en nedstrøms vandringsløsning för smolt och utlekt fisk.

Syftet med den här studien är att, med hjälp av litteraturstudier och en hydraulisk modell, utvärdera omløpets og smoltrännans funktion og komma med förslag på förbättringsåtgärder. Dessutom ska ett kontrollprogram og en checklista för design av framtida omløp tas fram. Studien kommer endast att fokusera på de tre fokusarterna lax, øring og harr, som är specificerat i befintligt kontrollprogram.

Resultaten från studien visar att det projekterade underlaget från konsulten inte oppfyller de rekommendationer som finns för fritt vattendjup og hastighet för varken høgt eller lågt fløde. Anledningen är att konsulten inte har ritat in varken ståndstenar eller vilobassänger, om dessa funnits med i relationsritningarna hade båda rekommendationerna med största sannolikhet oppfyllts. Simuleringarna av mätresultaten från det konstruerade omløpet viser att de oppfyller villkoren för vattendjup og hastighet för både høgt og lågt fløde. Avsaknaden av vilobassänger är något som kommer att skapa problem för harren, som kommer få svært att orka simma genom hela omløpet. För lax og øring som är sterke simmare, anses absaknaden av vilobassänger inte utgøra ett hinder för att klare av att simma gjennom hela omløpet. Reglerluckan i omløpets øvre del är felinställd og idag sløpps det mer vatten gjennom omløpet än vad som anges i styrterminalen. Smoltrännan kan anses ha en god funktion og är designad i stort sett enligt de rekommendationer som har identifiserats i tidigare studier. Undantaget är att det rekommenderade fingallret framför turbinintaget är ersatt med en finmaskig länns. Lännsens funktion bedøms inte vara tillrøcklig för att hindra smolt att simma ner i turbinen. Rekommendationen är att utvärdera lännsens funktion og ersätta den med ett fingaller ifall funktionen är bristføllig.

Förslag på vidare studier är att undersøke ifall det var økonomiskt försvarbart att bygge omløpet framför att lægge ner kraftverket og riva dammen samt ta fram ett vägledande dokument för framtida økonomiske bedømminger av den här typen av investeringar.





## Abstract

The fish bypass channel at Anundsjö Powerplant was inaugurated at the 2<sup>nd</sup> of September after a construction time of 2 years and to a total cost of 20 million SEK. The bypass channel was build due to the relicensing of the powerplant that was carried out by the Kammarkollegiet in 2010. The result from the verdict was that the owner of the powerplant, Statkraft, was to construct a 450 meter long fish bypass channel for upstream migration and a downstream fish passage for smolt.

The objective with this study is to evaluate the operation of the upstream and downstream fishway and come up with improvements using literature studies and a digital hydraulic model. Furthermore, development of a control program and a checklist for deising of future fish bypass channels will be made. The study will focus on the three focusspecies, salmon, trout and grayling that are specified in the existing control program.

The results from the study shows that the projected material from the consultant does not meet the criterias for minimum free water depth and watervelocity for either of the two discharges. The reason to this is that the consultant has not drawn the big stones or the restbasins in the material. If this had been made, there would not have been any problems to meet the requirements. The simulations of the constructed bypass channel show that it meets the criterias for free water depth and velocity for both high and low discharge. The lacking of restbasins is something that will create problems for the grayling, that will struggle to swim through the entire bypass channel. The lack of restbasins does not presume to be a problem for salmon and trout, that are strong swimmers. They will swing through the bypass channel without problems. The regulated flap at the upper part of the bypass channel is not correct adjusted and releases a higher flow then shown on the controlpanel. The downstream fishpass is found to have a good function and it is mostly designed according to the identified recommendations from previous studies. The exception is the recommendet fine spaced grid in front of the turbine inlet that has been replaced by a fine gridded boom. The boom is presumed to not be sufficient for stopping smolt from entering the turbine inlet. The reccomentations are to evaluate the operation of the boom and to replace it with a fine spaced grid if the function is insufficient.

Propositions for futher studies are to: 1. Evaluate if it was economically feasible to build the bypass channel instead of closing down the powerplant and tear down the dam and 2. To construct an indicative document for future economical evaluations of this type of investments.



# Innehållsförteckning

Förord .....	i
Sammandrag.....	iii
Abstract .....	v
Figurförteckning .....	ix
1 Inledning .....	1
1.1 Syfte .....	1
1.2 Genomförande .....	2
1.3 Avgränsningar .....	2
1.4 Metod .....	3
1.5 Till läsaren.....	4
2 Laxfiskar .....	5
2.1 Vuxen fisk.....	5
2.2 Ungfisk .....	7
3 Passager för fisk.....	11
3.1 Tekniska passager för uppströms vandring .....	11
3.2 Naturlika passager för uppströms vandring .....	15
3.3 Nedströms passage.....	25
3.4 Resultat från litteraturstudie .....	28
4 Studieområde .....	31
5 Resultat.....	39
5.1 Simulering av projekterad modell .....	39
5.2 Simulering av inmätt modell.....	42
5.3 Jämförelse mellan projekterade och simulerade resultat.....	45
6 Diskussion .....	49
6.1 Omlöpskanalen .....	49
6.2 Smoltlösning .....	53
7 Slutsats.....	57

---

7.1	Förbättringsåtgärder för Anundsjö.....	57
7.2	Checklista för design av framtida omlöp .....	58
7.3	Kontrollprogram för omlöp .....	61
7.4	Vidare arbete .....	61
8	Källor.....	63
	Appendix 1 – Relationsritning omlöp .....	69
	Appendix 2 - Uppbyggnad av modell.....	70
	Appendix 3 - Kalibreringsresultat .....	82
	Appendix 4 – Resultat projekterad modell.....	87
	Appendix 5– Resultat projekterad modell.....	96
	Appendix 6 - Tabell över förbättringsåtgärder vid Anundsjö kraftverk .....	105

## Figurförteckning

Figur 1. Preliminär tidsplan.....	2
Figur 2. Atlantlax.....	6
Figur 3. Havsöring.....	7
Figur 4. Harr.....	7
Figur 5. Smoltifisering.....	8
Figur 6. Bassängtrappa i Columbiafloden.....	12
Figur 7. Enkelslitsränna i Ätran.....	13
Figur 8. Tvär- och längdsektioner av enkel- och dubbelslitsränna.....	13
Figur 9. Denilränna i Valån.....	14
Figur 10. Upptröskling i Sjörydsbäcken.....	15
Figur 11. Naturlik bassängtrappa i Tyskland.....	16
Figur 12. Natuliknande inlöp i Mörrumsån.....	16
Figur 13. Exempel på omlöp.....	17
Figur 14. Skiss över Eldbäckens biokanal.....	22
Figur 16. Underlag för konventionell stigränna.....	23
Figur 17. Översiktskarta omlöpets placering.....	31
Figur 18. Is i omlöpet.....	32
Figur 19. Ståndstenarnas placering i den övre delen av omlöpet.....	33
Figur 20. Avverkning runt omlöpet.....	34
Figur 21. Kanterosion.....	34
Figur 22. Kantsubstrat.....	35
Figur 23. Sediment i omlöpet.....	36
Figur 24. Frekvensfördelning för vattenflöde 250 liter/sekund.....	39
Figur 25. Frekvensfördelning för vattenflöde 800 liter/sekund.....	40
Figur 26. Frekvensfördelning för vattenflöde 800 liter/sekund.....	41
Figur 27. Frekvensfördelning för vattenflöde 250 liter/sekund.....	42
Figur 28. Frekvensfördelning för vattenflöde 340 liter/sekund.....	43
Figur 29. Frekvensfördelning för vattenflöde 800 liter/sekund.....	44
Figur 30. Jämförelse av djupfödelningar för flödet 250 liter/sekund.....	45
Figur 31. Jämförelse av djupfödelningar för flödet 800 liter/sekund.....	46
Figur 32. Jämförelse av hastighetsfördelningarna för flödet 250 liter/sekund.....	47
Figur 33. Jämförelse av hastighetsfördelningarna för flödet 800 liter/sekund.....	47
Figur 34. Reglerkurvor reglerbar lucka.....	52
Figur 35. Centerlinje i ArcMap.....	71
Figur 36. Tvärsektionslinjerna i ArcMap.....	72
Figur 37. Punkter för botten- och toppkant i ArcMap.....	73

Figur 38. Kontroll av lutning .....	73
Figur 39. Tabell över punkter .....	74
Figur 40. Översiktsbild över resultatet från River_BED .....	74
Figur 41. Översiktisbild över resultatet från River_MESH .....	75
Figur 42. Begränsning av omlöpets bredd.....	76
Figur 43. Ny placering av omlöpets topppunkter.....	76
Figur 44. Ny exterior boundary.....	77
Figur 45. Förtätning av mesh.....	77
Figur 46. Kontroll av punkter mot relationsritning.....	78
Figur 47. Interpolering av nya punkter .....	79
Figur 48. Interpolering av nya punkter .....	79
Figur 49. Kalibrering av vattenlinje.....	83
Figur 50. Kalibrering av vattenlinje.....	84
Figur 51. Höjdskillnad kalibrering för vänster sida .....	85
Figur 52. Höjdskillnad kalibrering för vänster sida .....	85
Figur 53. Höjdskillnad kalibrering för höger sida.....	86
Figur 54. Höjdskillnad kalibrering för höger sida.....	86
Figur 55. Simulerat vattendjup för det projekterade omlöpet.....	87
Figur 56. Simulerad vattenhastighet för flödet 250 liter/sekund.....	88
Figur 57. Tvärsektion av bottennivå och vattennivå för flöde 250 liter/sekund .....	89
Figur 58. Tvärsektion av vattendjup för flöde 250 liter/sekund.....	89
Figur 59. Simulerat vattendjup för flöde 800 liter/sekund.....	90
Figur 60. Simulerad vattenhastighet för flöde 800 liter/sekund.....	91
Figur 61. Tvärsektion av bottennivå och vattennivå för flöde 800 liter/sekund .....	92
Figur 62. Tvärsektion av vattendjup för flöde 800 liter/sekund.....	92
Figur 63. Simulerat vattendjup för flöde 800 liter/sekund.....	93
Figur 64. Simulerad vattenhastighet för flöde 800 liter/sekund.....	94
Figur 65. Tvärsektion av bottennivå och vattennivå för flöde 800 liter/sekund.....	95
Figur 66. Tvärsektion av vattendjup för flöde 800 liter/sekund.....	95
Figur 67. Simulerat vattendjup för flöde 250 liter/sekund.....	96
Figur 68. Simulerad vattenhastighet för flöde 250 liter/sekund.....	97
Figur 69. Tvärsektion av bottennivå och vattennivå för flöde 250 liter/sekund .....	98
Figur 70. Tvärsektion av vattendjup för flöde 250 liter/sekund.....	98
Figur 71. Simulerat vattendjup för flöde 340 liter/sekund.....	99
Figur 72. Simulerad vattenhastighet för flöde 340 liter/sekund.....	100
Figur 73. Tvärsektion av bottennivå och vattennivå för flöde 340 liter/sekund .....	101
Figur 74. Tvärsektion av vattendjup för flöde 340 liter/sekund.....	101
Figur 75. Simulerat vattendjup för flöde 800 liter/sekund.....	102
Figur 76. Simulerad vattenhastighet för flöde 800 liter/sekund.....	103

Figur 77. Tvärsektion av bottennivå och vattennivå för flöde 800 liter/sekund. ....104  
Figur 78. Tvärsektion av vattendjupet för flöde 800 liter/sekund. ....104





# 1 Inledning

År 2000 trädde EUs vattendirektiv i kraft och år 2004 infördes vattendirektivet i svensk lagstiftning. Syftet med vattendirektivet är att skydda och förbättra vattenkvaliteten och tillgången på vatten (HaV, 2014). Den paragraf som behandlar fragmenterade vattendrag och vattenkraft är miljömålen i artikel 4a. I 4a iii) står det skrivet att man ska "skydda och förbättra alla konstgjorda och kraftigt modifierade vattenförekomster i syfte att uppnå en god ekologisk potential och en god kemisk ytvattenstatus senast 15 år efter detta direktivs ikraftträdande..." (EU-kommissionen, 2000). Syftet med paragraf 4a är att få en ökad uppmärksamhet från svenska myndigheter gällande den fragmentering av habitat för fisk och andra vattenlevande organismer som utbyggnaden av vattenkraft har skapat. För vattenkraftsindustrin innebär det att man bör förvänta sig en ökad granskning av fiskvandringlösningar förbi existerande kraftverk. År 2005 startades Moälvsprojektet, ett EU Life Nature projekt som drevs av Örnsköldsviks kommun mellan år 2005-2008. Projektet syftade till att förbättra livsmiljöerna för alla vattenlevande organismer i Moälven. (Jansson, 2005). På bakgrund av vattendirektivet och Moälvsprojektet fick Anundsjö kraftverk i Moälven under hösten 2010 sin vattendom omprövad av Kammarkollegiet. Domen blev att Statkraft, som är ägaren till kraftverket, skulle anlägga ett 450 meter långt omlöp för att möjliggöra uppströms vandring för fisk samt att installera en nedströms vandringlösning som hjälper smolt och utlekt fisk förbi dammen på ett säkert sätt (Hagström, 2010).

Den 2:a september 2015 invigdes omlöpet efter en byggtid på 2 år, till en kostnad av 20 miljoner kronor (Länsstyrelsen Västernorrland, 2015). För att underlätta processen vid byggnation av framtida omlöp vill Statkraft nu upprätta en kontrollplan som utgår från erfarenheterna vid Anundsjö kraftverks omlöp och aktuell forskning inom området. Statkraft vill även utvärdera funktionen hos omlöpet och smoltlösningen vid Anundsjö kraftverk och identifiera eventuella förbättringsåtgärder som kan behöva göras.

För att få hjälp med de här frågorna beslutades det att ett examensarbete skulle skapas på NTNU i Trondheim.

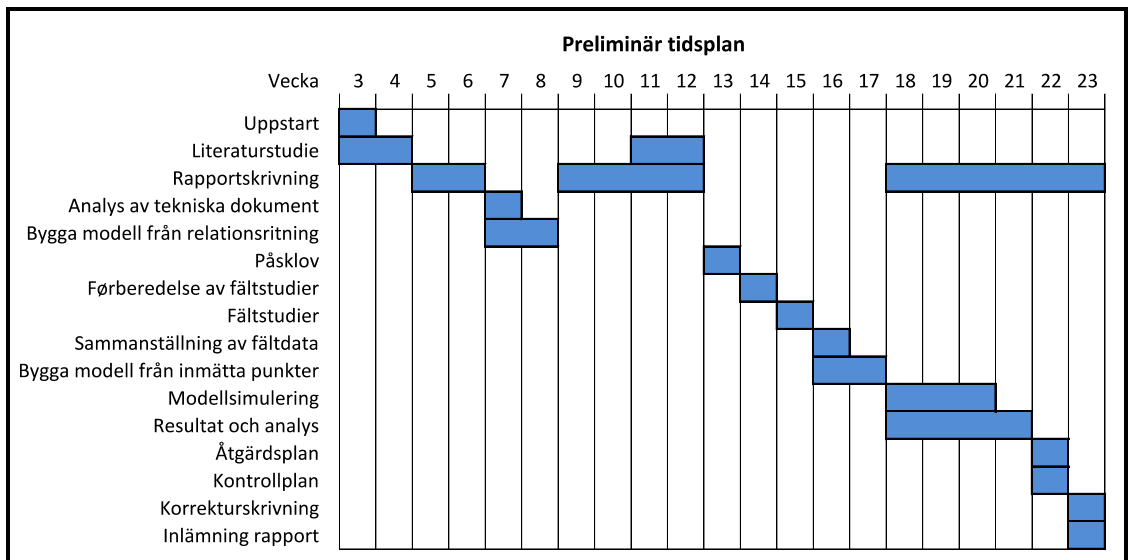
## 1.1 Syfte

Syftet med det här examensarbetet är att utvärdera funktionen hos omlöpet, slitsrännan och smoltrännan vid Anundsjö kraftverk och komma med förslag på förbättringsåtgärder. Resultaten från examensarbetet ska användas vid byggnation av framtida omlöp genom att dokumentera vad man ska vara uppmärksam på vid byggnation och drift. Dokumentationen kommer bestå av en checklista för design av omlöp samt ett kontrollprogram för omlöp.

## 1.2 Genomføringende

Examensarbeidet løper under 20 vekors tid på vårterminen 2016 og for å disponere tiden på ett bra sätt utan å leggja for mycket tid på ett specifikt moment har en preliminær tidsplan gjorts i samarbeide med handledaren, se figur 1. Tidsplanen kommer å ändras under projektets gång eftersom det är svårt å i ett tidigt skede estimera tidsåtgången for varje moment.

For å säkerställa å tidsplanen följs och å varje moment behandlas tillfredsstillande kommer kontinuerlige avstämningar med handledaren å ske.



Figur 1. Preliminær tidsplan for projektet.

## 1.3 Avgrænsninger

Lax, havsøring og harr er de tre fiskarterne som kommer å beaktas og det er deras egenskaper som kommer å dimensionere kravene for vandringsløsningarna. Hur øvrige vattenlevende organismer påverkas kommer inte å tas opp i den här studien.

Det er endast omløpet, slitsrånna og smoltrånna forbi dammen vid Anundsjø kraftverk som kommer å behandlas. Eventuelle vandringshinder oppstrøms og nedstrøms dammen kommer inte å behandlas.

I den här rapporten har primære källor används i så stor utstrækning som möjligt, spesielt i kapitel 3 som er det stora teorikapitlet som kommer å ligga till grund for alle analyser og slutsatser i studien. For å få tag på bra källor har handledarens kontaktnät og kunnskap

om aktuell forskning inom området varit viktigt samt ett bra samarbete från forskare som håller på med aktuell forskning inom ämnet.

Sekundära källor och hemsidor har använts i kapitel 1 och 2 för att hämta generell information om exempelvis kraftproduktion och för att referera till mer eller mindre allmän kunskap.

## 1.4 Metod

För att ge studien ett sammanhang genomförs först en litteraturstudie på fiskvandring och de vanligaste vandringslösningarna. Designparametrar för omlöp kommer identifieras och ligga till grund för den utvärdering av omlöpet vid Anundsjö som senare kommer att göras. Utöver litteraturstudien kommer en fältstudie att göras vid Anundsjö kraftverk för att mäta in omlöpets verkliga geometri och studera omlöpet och smoltrännen på plats. Mätningarna kommer att göras med en RTK GPS som är uppkopplad mot Swepos nätverk av basstationer (Sweref 99 TM). Det som kommer mätas in är tvärsektioner, vattenlinje och ståndstenar. För varje tvärsektion kommer nio punkter mätas in; tre punkter under vattenlinjen varav en i centerlinjen, två punkter på vattenlinjen och fyra punkter ovanför vattenlinjen. För varje ståndsten mäts punkter in i överkant och underkant av stenen. Antalet punkter varierar beroende på stenens storlek och form, med ståndstenar så avses stora stenar som sticker upp ovanför vattenytan. Under fältstudien kommer det också ges tillfälle att diskutera frågor som har kommit upp under litteraturstudien med anställda på Statkraft i Sollefteå.

För att få reda på strömningsförhållanden och vattendjup i omlöpet kommer två hydrauliska modeller att byggas. Den första modellen kommer att byggas efter omlöpets relationsritningar för att undersöka hur bra omlöpet skulle fungera ifall det var byggt exakt enligt ritning. Den andra modellen kommer att byggas efter de mätresultat som erhöles vid platsbesöket och kommer visa omlöpets faktiska strömningsförhållanden och funktionalitet. Det är resultaten från den inmätta modellen som kommer vara de viktigaste för att bestämma vilka eventuella förbättringsåtgärder som behöver genomföras för omlöpet. Det modelleringsprogram som kommer att användas är River 2D som är utvecklat vid Universitetet i Alberta, USA. River 2D är en enklare, tvådimensionell hydrodynamisk modell som är speciellt anpassad för analyser av fiskhabitat och beräknar vattendjup och vattenhastigheter för vattendraget. För att underlätta reproducering av studien har information om modellernas uppbyggnad samt kalibreringsresultat sammanställts i appendix 2 och 3.

## 1.5 Till läsaren

Här kommer det kort att presenteras vad varje kapitel innehåller för att ge läsaren en bättre uppfattning om hur rapporten är uppbyggd samt att underlätta för läsaren att enklare kunna hitta specifik information som eftersöks.

Det första kapitlet i rapporten ger en bakgrunden till examensarbetets problemställning, syfte, avgränsningar och metodval.

Kapitel två är ett teoretiskt kapitel som handlar om de tre laxfiskarna Östersjölox, havsöring och Harr. Först ges generell information om fiskars vandringsbeteende, sedan behandlas de tre fokusarternas vandringsmönster mer specifikt. Ungfiskars vandringsbeteende nedströms tas upp sist i kapitlet för att ge en bakgrund till smoltrännans krav för att säkert transportera ungfisken förbi dammen.

I kapitel tre skrivs det om fiskpassager. Även det kapitlet är ett teoretiskt kapitel där information från relevant litteratur är sammanställd. I det kapitlet kan läsaren få information om tekniska och naturlika fiskpassager för uppströms vandring samt vandringslösningar för nedströms vandring. En fördjupning inom omlöpsdesign är också gjord.

Kapitel fyra handlar om platsbesöket till omlöpet vid Anundsjö kraftverk. I det här kapitlet beskrivs hur slitsrännan och vandringslösningen för smolt såg ut på plats och hur dessa lösningar var utformade. Det här kapitlet ger även information om hur förutsättningarna vid inmätningen såg ut. Det här kapitlet ska ses som en del av resultaten för slitsränna, smoltlösning och omlöpet. Informationen i det här kapitlet kommer att användas i diskussionen.

I kapitel fem presenteras alla simuleringsresultaten för de olika vattenföringarna med den hydrauliska modellen. Resultaten presenteras tydligt med grafer och bilder och korta beskrivningar.

Kapitel sex är diskussion och här diskuteras alla resultat från studien och ställs mot resultat i tidigare rapporter.

I kapitel sju finns slutsatserna. Här presenteras förbättringsåtgärder och ett kontrollprogram för omlöpet samt en checklista för vad man bör tänka på vid design och byggnation av framtida omlöp. Förslag på vidare arbete presenteras också.

Kapitel åtta är källkapitlet och här finns alla källor, presenterade i alfabetisk ordning, som är använda i rapporten.

## 2 Laxfiskar

Det här kapitlet presenterar kort egenskaper och vandringsmönster hos lax, havsöring och harr, som är de tre fiskarter som vandringslösningen förbi Anundsjö kraftverk är byggd för. Kapitlet har även en mindre fördjupning av de här tre arternas första vandring nedströms och deras egenskaper, för att läsaren ska få en djupare förståelse för kraven på smoltrännans funktion.

Alla fiskarter vandrar i någon utsträckning och de främsta anledningarna är för att finna bra habitat för tillväxt, överlevnad, reproduktion samt för att upprätthålla en genetisk variation hos bestånden. Dessa habitat skiljer ofta på sig i utformning och återfinns därför på olika geografiska platser. Ett habitat för exempelvis tillväxt förändras beroende på fiskens livsstadie. Det hela börjar med att ynglen lämnar födelseplatsen för att hitta ett habitat där den kan tillbringa första tillväxtfasen. Efter ett tag flyttar den på sig till ett nytt habitat för att växa till sig ytterligare. När fisken är könsmogen återvänder den till sitt födelsehabitat för att reproducera sig. Vandringssträckan är olika lång för olika arter. En del arter förflyttar sig upp- och nedströms i samma vattendrag medan andra arter, exempelvis lax, kan vandra upp till tusentals kilometer mellan sina olika habitat. Vandring sker också till djupare bassänger för övervintring. (Calles O, 2013)

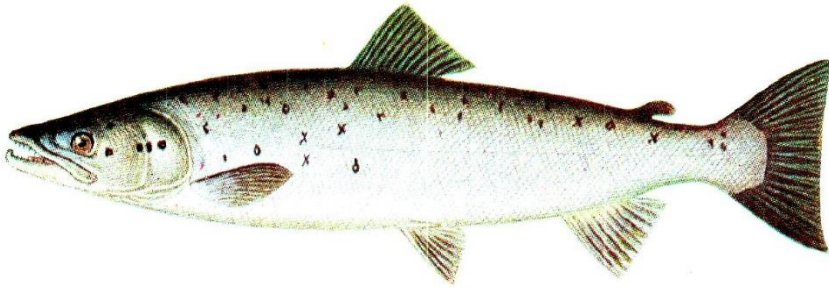
### 2.1 Vuxen fisk

#### *Atlantlax (Salmo salar)*

Atlantlaxen är den starkaste simmaren i våra svenska vatten och i Faxälven har individer påträffats som har varit upp mot 140 centimeter långa och vägt 46 kg (<http://www.fiskbasen.se/lax.html>). Vanlig vikt för laxen i svenska vatten är 3-6 kg (<http://sjomatsframjandet.se/arter/lax-3/>).

Atlantlaxens vandringsmönster varierar mellan olika bestånd. Det finns exempel på ungfiskar som blir könsmogna utan att lämna vattendraget som de föddes i. De flesta fiskar uppvisar dock ett anadromiskt vandringsmönster och vandrar ut till havsmiljöer. Laxungar stannar 1-4 år i födelsevattendraget eller mindre biflöden innan de vandrar ut till havet för första gången. Allt eftersom de växer förflyttar de sig till områden med större djup och starkare vattenström. Laxsmolten vandrar ut till havet under våren medan utlekt lax vandrar tillbaka direkt efter lekperioden under hösten. Det förekommer även att utlekt lax övervintrar i lekavdraget för att sedan vandra tillbaka till havet under våren. (Calles O, 2013)

Utbyggnaden av vattenkraft och dammar i svenska vattendrag har påverkat laxen mycket negativt. I de tre stora älvarna Ljungan, Indalsälven och Ångermanälven återstår idag endast 7 % av de 750 km som tidigare var tillgängligt habitat för laxen innan definitiva hinder i form av dammar blockerade vägen (Calles O, 2013).



Figur 2. Atlantlax (Östman E. 1911)

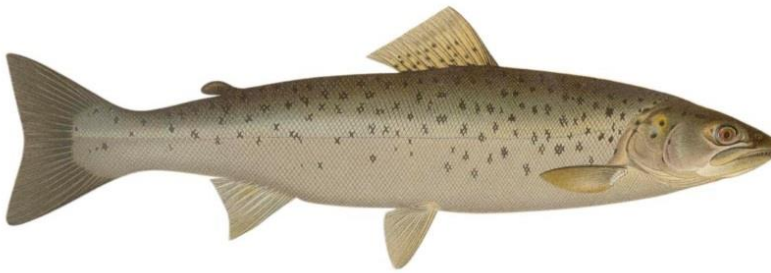
### Öring (*Salmo trutta trutta*)

Öringen tillhör släkten laxfiskar och är, liksom atlantlaxen, en stark simmare. Den kan bli upp mot en meter lång och väga runt 15-20 kg. Öringen har samma utbredning som laxen, runt hela Sveriges kust och i stora vattendrag, men öringen går även upp i mindre vattendrag och återfinns i stort sett i hela landet.

(<http://www.fiskbasen.se/havslaxoring.html>)

Havslevande öring har ett vandringsmönster som liknar laxens. Den största skillnaden är att öringen återvänder till större söta eller bräckta vattendrag för att övervintra och vandrar därför inte lika långa sträckor som laxen. Havsöringens ungar vandrar ut under våren och tillbakavandring för lek sker under sommar och höst. (Calles O, 2013)

Sötvattenslevande öring har sin tillväxtplats i sjöar och vandrar både uppströms eller nedströms för att leka. Strömlevande öring vandrar uppströms under försommaren för att söka föda och vandrar ner till lugnare och djupare habitat för övervintring. Storvuxna öringar har ofta sin lekplats nedströms stora sjöar med bra fallhöjd eftersom det ger en gynnsam tillväxt. Tidigare har det påvisats öringar på 16-23 kg vid Motala ström, som är utloppet till sjön Vättern. Det är även i de här områdena, nedströms stora sjöar som det är attraktivt att bygga vattenkraftverk och det har gjort att storvuxna öringar har blivit kraftigt reducerade till följd av denna aktivitet. Även mindre strömlevande öring har påverkats kraftigt till följd av dammar som byggt för flottning eller mindre vattenkraftverk (Calles O, 2013).



Figur 3. Havsöring (Fiskevårdsområdet Lödde- och Kävlungeån. 2016)

### **Harr (*Thymallus thymallus*)**

Harr tillhör släkten laxfiskar och är jämfört med öring och lax en betydligt svagare simmare. Harren kan bli 60 cm lång och väga runt 3-4 kg. Den är i huvudsak en nordsvensk fisk som finns i de norrländska vattendragen och längs Norrlandskusten, men finns även i Klarälvens system och i sjön Vättern. (<http://www.fiskbasen.se/harr.html>)

Harren lever främst i strömmande vatten där den förflyttar sig mellan olika habitat för lek, föda och övervintring. Den kustlevande harren vandrar upp i kustmynnande vattendrag för att leka. Harren begränsas, liksom alla vandrande fiskar, av dammar och vattenkraftverk vilket har lett till ett minskande bestånd (Calles O, 2013).



Figur 4. Harr (Havs- och vattenmyndigheten. 2014)

## **2.2 Ungfisk**

Ungfisk som tillhör släkten laxfiskar och som för första gången vandrar från sötvattendrag ut till havet kallas för smolt. Under smoltifiseringen sker en rad fysiologiska förändringar som möjliggör att fisken klarar av en annan saltbalans i omgivande vatten. Fisken ändrar utseende och går från en brun till en silvrig färg, ändrar sitt sociala beteende och börjar vandra ut till havet. Under smoltifiseringen är fisken mycket sårbar för yttre påverkningar och studier har visat att vattenkvaliteten har stor inverkan för smoltens hälsa och framtida överlevnad i saltvatten. (Ugedal O, 2014)



Figur 5. Underst i bild syns en laxunge innan smoltifisering och övers i bild syns en laxsmolt efter smoltifisering. Foto: Roy M. Langåker (Ugedal et al. 2014).

Smoltvandring är en aktiv process där smolten ibland driver med vattenströmmen och ibland aktivt simmar med eller mot strömmen för att kontrollera var i älven den befinner sig och hur snabbt den förflyttar sig. Smolten vandrar ytligt och följer huvudströmmen och de flesta fiskarna kan observeras i ett begränsat tvärsnitt av älven. Tidigare så har antagandet varit att smolten vandrar i huvudsak på natten, men att vandringen på dagtid ökar med ökande vattentemperatur. Vid 12-13 °C sker det lika stor vandring natt- som dagtid. Undersökningar som är gjorda på fångst i små smoltfällor i södra Norge tyder på att vandringen främst sker under natten vid låga temperaturer, enligt Ugedal O. (2014). Pirhonen et al. (1998) observerade, för två årig havsöring, att vandringen ökade med stigande vattentemperatur och att vandringen mest skedde under dagtid.

Smoltvandring sker främst under vår och sommar, och de flesta studier visar att det som initierar vandring är de ökade vattenflödena. Ett exempel är Hesthagen & Jonsson (1991) som fann att så var fallet för antlantlaxsmolt i Norge. Jonsson, Hansen & Jonsson (1991) observerade att tidpunkten för nedströms vandring korrelerar med höga vattenflöden, baserat på genomgång av relevant litteratur.

Studier har visat att smolten känner av och reagerar avvaktande på plötsliga förändringar i strömningsförhållanden som känns hotfulla. Vandringshastigheten genom en reservoar kan skilja sig signifikant mot samma vandringssträcka i en naturlig ström. Williams et al. (2005) upptäckte att smolt som vandrade en sträcka med dammar i Colombiafloden tog 15-40 dagar på sig jämfört med den uppskattade tiden som var 10-20 dagar för samma flodsträcka utan dammar och reservoarer närvarande. Orsaken till beteendet tros vara en skyddsmekanism som hindrar smolten från att simma utför ett vattenfall eller in i en lugn bassäng där det finns risk för predation av rovfiskar. Dock så uppvisar smolten samma beteende när den påträffar en byggd dam eller ett vattenkraftverk, vilket försenar



smoltens ankomst till havet och ökar risken för predation om det inte finns väl fungerande åtgärder som hjälper smolten förbi hindret (Ugedal O, 2014). Wertheimer, Dalen & Madson (2001) observerade att den mediana uppehållstiden för radiomärkt öringsmolt var längst vid turbinintaget (8 timmar, 39 minuter) och kortast vid utskovet (15 minuter).



### 3 Passager för fisk

Det här kapitlet presenterar de vanligaste tekniska och naturlika passagera för uppströms vandring av fisk. Kapitlet fördjupar sig i hur ett omlöp ska utformas och nedvandringlösningar för smolt.

Enligt Calles (2013) ska syftet med en fiskpassage alltid vara att möjliggöra passage för alla förekommande arter som fisk, bottendjur, däggdjur och groddjur som använder vattendraget som habitat. Naturlika passager ska alltid prioriteras framför tekniska passager. Undantaget är passager som i naturligt tillstånd är svåra att passera som exempelvis en bergsklack, dessa passager ska inte restaureras så att de blir enklare att passera. Orsaken är att fiskarter inte ska hjälpas att sprida sig till tidigare otillgängliga habitat då det här kan ge kraftiga störningar i uppströms ekosystem (Calles O, 2013).

De två viktigaste faktorerna för att en fiskväg ska ha en bra funktion är attraktion och passage. Attraktionseffektiviteten beskriver hur bra fisken hittar fram till och in i fiskvägen medan passageeffektiviteten beskriver hur bra fisken klarar av att simma igenom och ut ur fiskvägen (Calles O, 2013).

#### 3.1 Tekniska passager för uppströms vandring

Tekniska fiskpassager består ofta av en betongkonstruktion som i regel endast fisk har möjlighet att passera. Tekniska fiskpassager är selektiva av vilka fiskarter som kan passera, oftast är det endast vuxna simstarka fiskar som - lax och havsöring - som klarar av dessa fiskpassager. Karaktären på tekniska fiskpassager varierar generellt med olika flöden. Vid lågt flöde kan en art vara favoriserad och vid högt flöde kan en annan art vara favoriserad. Tekniska fiskpassager kräver också regelbunden tillsyn och är dyra att anlägga jämfört med naturlika passager (Degerman E, 2008).

Det finns flera typer av tekniska fiskpassager, de tre vanligaste är kammartrappa, slitsränna och denilränna.

##### *Kammartrappa*

Kammartrappan är uppbyggd av ett antal bassänger placerade efter varandra som i en trappa. I varje bassäng bromsas vattnets energi upp och ger fisk en möjlighet att återhämta sig innan den simmar eller hoppar upp för nästa trappsteg. Det som styr flödesmönstret och flödes hastigheten i en kammartrappa är nivåskillnaden mellan varje trappsteg och storleken på varje bassäng. Ju större volym en bassäng har desto mer av vattnets energi bromsas upp (Degerman E, 2008).

En vanlig alternativ utformning på kammartrappan är att installera underströmsöppningar och/eller slitsar i tvärväggens övre del. Det har visat sig att även de starkaste laxfiskarna

föredrar att simma genom en underströmsöppning istället för att simma eller hoppa över bassängkanten (Calles O, 2013).

Fördelen med kammarrappan är att den fungerar vid varierande flöden och framför allt vid låga flöden, vilket gör att den kan anläggas i vattendrag med säsongsvist låga flöden. Nackdelen med kammarrappan är att den i första hand är byggd för starka simmare, som lax och havsöring, den är också känslig för flödesförändringar och vattennivåfluktuationer (Calles O, 2008).



Figur 6. Bassängtrappa i Columbiafloden, nordvästra USA.  
Foto: Erik Degerman. (Calles O. 2013).

### **Slitsränna**

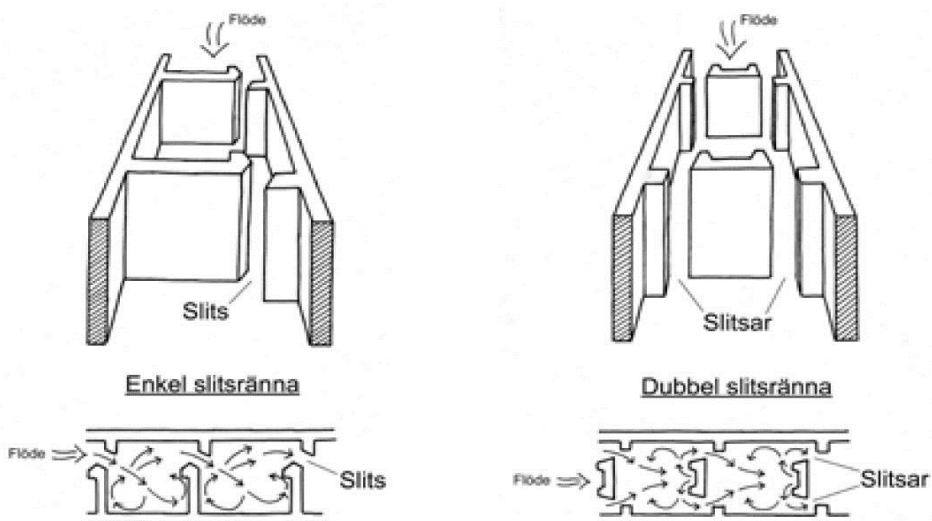
Slitsrännan har en liknande uppbyggnad som kammarrappan och beskrivs bäst som en kammarrappa med öppna bassänger. Skillnaden är att den har en öppen slits som löper längs hela tvärväggen vilket gör den relativt okänslig för variationer i vattenståndet uppströms. Slitsrännan kan byggas med en slits (enkelslitsränna) eller två slitsar

(dubbelslitsränna) i varje tvärvägg. Bakom tvärväggarna är vattenhastigheten låg vilket ger fisken en möjlighet att återhämta sig. Bäst funktion på slitsrännan uppges vara vid ett vattendjup på över 60 centimeter, vilket gör att slitsrännorna kräver mycket vatten för att fungera.

Vattenhastigheten i en slitsränna är relaterad till höjdskillnaderna mellan trappstegen och vattenhastigheten är i stort sett densamma från botten upp till ytan. Högsta rekommenderade nivåskillnad mellan bassängerna är 15 centimeter om vuxna sötvattensfiskar ska kunna passera, för lax och öring kan nivåskillnaden vara upp mot 30 centimeter. Lutningen på slitsrännor brukar vara mellan 5–15 % och de bör ha vilobassänger var 6:e höjdmeter för vuxen lax (Degerman E, 2008). Minsta rekommenderade slitsbredd är 3 gånger fiskens bredd, dock ej smalare än 15 centimeter (ICPDR, 2013).



Figur 7. Enkelslitsränna vid Flaka kvar i Ätran. Foto: Morgan Andersson, Länsstyrelsen i Västra Götalands län. (Degerman E. 2008).



Figur 8. Tvär- och längdsektioner av enkel- och dubbelslitsränna. (Degerman E. 2008).

### Denilrænna

Denilrænna er en vidareutveckling av slitsrænna där tvärväggarna skapar ett flödesmönster av motströmstyp med hjälp av lameller som är placerade tätt och lutar uppströms. Hastigheten på vattnet är generellt lägre vid botten än vid ytan. Vilobassänger bör placeras var 5:e höjdmeter för vuxna sötvattensfiskar och var 10:e höjdmeter för vuxen lax och havsöring (Degerman E, 2008).

Fisken får hjälp av vattenströmmen att passera uppför och det har noterats att fisk passerar snabbare genom en denilrænna än genom en slitsrænna eller kammarrappa. De är även relativt billiga att anlägga. Nackdelen med denilrænna är att den kräver mycket vatten för att fungera bra. Den har även ett stort tillsynsbehov eftersom den tenderar att sättas igen av trädgrenar och annat skräp. Denilrænna har dessutom ett dåligt lockflöde, något som kraftigt minskar attraktionskraften hos fiskvägen (Degerman E, 2008).

Denilrænna uppfanns 1908 av belgaren Denil, som sedan vidareutvecklades av svensken Valter Furuskog som byggde en denilrænna i närheten av Falkenberg. Den har fungerat i över 50 år för passage av lax och havsöring. Denilrænna har också fått bra spridning i Nordamerika. (Degerman E, 2008)



Figur 9. En denilrænna i Valån, Jönköpings län. Foto: Fredrik Nöbelin. (Risinger B. 2014).

### 3.2 Naturlika passager för uppströms vandring

De senaste decennierna har insikten om vikten av att konstruera passager som är lämpliga för alla fiskarter och vattenlevande organismer i olika livsstadier, så kallade faunapassager, ökat. Ett exempel på en sådan faunapassage är de naturlika fiskvägarna som började byggas under 1980-talet i Frankrike, Österrike och Danmark. Under 1990-talet började de även att byggas i Sverige. Naturlika fiskvägar byggs för att efterlikna ett naturligt vattendrag/biflöde med avseende på bottensubstrat, vattenrörelser, fårans lopp och lutning. Syftet är att göra det möjligt för alla naturligt förekommande organismer att använda fiskvägen för habitat och passage. (Calles O, 2012)

Det finns fyra vanliga typer av naturlika fiskvägar:

#### *Upptröskling*

Används för att höja vattennivån nedströms och bibehålla höjden hos dämnet. Den här metoden är att föredra om dämnet innehåller förorenade sediment som inte får sättas i rörelse. Rännan bör ha ett V-format tvärsnitt för att klara av både höga och låga vattenföringar. Upptröskling har använts för hinder upp till 1,8 meter. (Calles O, 2013)



Figur 10. Upptröskling i Sjörödsbäcken, Hjo kommun. Fotot är taget under konstruktion. (degerman E. 2008).

### **Naturlik bassängtrappa**

består av trappsteg som byggs upp av stora block och liknar den tekniska bassängtrappan. Oftast byggs det in öppningar växelvis på varje sida för att bromsa vattnets energi och samtidigt låta fisken simma uppströms. (Calles O, 2013)



*Figur 11. Naturlik bassängtrappa vid kraftverket Unkelmühle i vattendraget Sieg i Tyskland. Foto: Olle Calles. (Calles O. 2012).*

### **Inlöp**

är en naturlig fåra förbi hindret och anläggs i vattendraget. Den här lösningen är lämplig om marken runt hindret är olämplig för att bygga ett omlöp. Inlöpet kan designas för att släppa igenom ett visst flöde vid olika vattenföring med hjälp av en reglerbar lucka av något slag. Vandrande djur och även växter har lätt att hitta ett inlöp eftersom det anläggs i vattendraget. (Calles O, 2013)



*Figur 12. Ett naturliknande inlöp vid Hemsjö nedre i Mörrumsån. Foto: Arne Johlander. (Risinger B. 2014).*



## Omlöp

Omlöp är en naturlig fåra runt hindret som erbjuder en varierad miljö med olika djup och flöden som passar många olika arter. Det finns omlöp som fungerar som habitat för vissa arter och ett omlöp bör ses som en förlängning av vattendraget istället för en passage. Ett av de största omlöpen byggdes i f.d. sovjetunionen och är 6 kilometer långt, 2,5 meter djupt och 22 meter brett. (HaV, 2013)



Figur 13. Exempel på omlöp. A) & C) Emån, B) Svartån och D) naturlig fåra av överlöpstyp i Västra Götaland. Foto: A) & C) Olle Calles, B) Erik Degerman, D) Länsstyrelsen i Västra Götalands Län. (Calles O. 2012).

Då den här rapportens uppgift är att utvärdera ett omlöp kommer omlöpet att presenteras mer ingående i resten av detta kapitel.

Omlöp är känsliga för variationer i vattenståndet uppströms och hög vattenföring. Det finns exempel på omlöp som inte har kunnat passeras på grund av för hög vattenföring, trots att de har lockat fisk. Ett sätt att minska variationerna är att skapa ett skarpt v-skuret inlopp. Det bästa alternativet är att bygga ett reglerbart utskov i den övre delen av passagen som möjliggör reglering av flödet. Det ger även möjligheten att helt stänga

omløpet ved byggnation, reparation, extrema flöden eller under vintern då ingen uppströms vandring sker. Lämpligast installeras ett bottenutskov i form av en lucka som har bra funktionalitet även vid låg vattenföring. Att utskovet fungerar både vid hög och låg vattenföring är ett krav som ska finnas på en passage. (Degerman E, 2008)

### *Utformning av omlöp*

Öring och andra starka simmare kan passera genom ett omlöp med en lutning på 3-9 % så länge det finns ståndstenar som skapar läområden. För ett omlöp som ska fungera för de flesta vattenlevande organismer är den generella rekommendationen att korta omlöp får ha en maximal lutning på 2 %. För längre omlöp (> 50 m) är den maximala lutningen 1.5 %. (Degerman E, 2008)

I längre omlöp ska det finnas vilobassänger var 75-100:e meter. Vid brant lutning och hög vattenhastighet kan vilobassänger behövas var 50:e meter. Vilobassängerna ska inte utformas som djupa höljor om det finns risk för ansamling av gädda. Då är det bättre att bygga breda och grunda habitat där vattenhastigheten är låg och som har skyddande vegetation från exempelvis träd och buskar för att undvika predation från landlevande rovdjur (Degerman E, 2008). I rapporten från ICPDR rekommenderas att den minsta längden på vilobassängen är tre gånger fiskens längd, vilket motsvarar ca 4 meter där stora laxfiskar ska vandra. Rekommenderad minsta bredd är 2 gånger fiskens längd, vilket motsvarar 3 meter för storvuxna laxar. Om djupare partier byggs ska de vara väl strömsatta för att undvika predation från rovfiskar. (Degerman E, 2008)

Hur mycket vatten som måste rinna genom en fiskpassage beror på fiskens storlek och art. En lax på en meter behöver 500-550 liter/sekund, gärna mer.

ICPDR skriver att den maximala vattenhastigheten i ett omlöp med vilobassänger är 1,9 m/s. För ett omlöp utan vilobassänger är det 1,1 m/s. Minsta fria vattendjup ska vara 2.5 ggr fiskens kroppshöjd, för lax innebär det ett minsta djup på motsvarande 30 cm.

Längre omlöp ska utformas som ett naturligt strömningsparti med uppväxthabitat för fisk och andra smådjur. Omlöpet som har byggts förbi slussen i Örebro är ett bra exempel på ett lyckat naturligt strömningsparti med uppväxthabitat. Vid provfiske identifierades nio olika arter, vilket är den högsta artrikedomen som har uppmätts i Närke län. Det har även observerats att vissa fiskarter använder omlöpet som habitat och inte bara som vandringsväg. (Degerman E, 2008)

Slingriga omlöp är erosionskänsliga. Vattenströmmen tvingas byta riktning vilket resulterar i erosion av stränderna i ytterkurvor. Det är stor risk att omlöpen svämmar över vid höga flöden på grund av de skarpa svängarna. Här rekommenderas att installera ett utskov.

Dessutom finns en risk att vattnet söker sig ned i marken och skapar nya vägar i fallinjen. Det gäller att säkra botten med täta lager. (Degerman E, 2008)

Botten av fiskpassagen ska bestå av ett grovt substrat med en tjocklek på minst 0,2 meter, detta för att sänka vattenhastigheten vid botten. Ett för grovt bottensubstrat ökar risken för turbulens och försämrar förhållandena för svagare simmare. Därför föreslås en konstruktion av olika fraktioner enligt följande: Större stenar (35-45 cm, 4-5 stenar/m<sup>2</sup>), klappersten (5-15 cm) och grus (8-32 mm). De stora stenarna ska sticka upp 1 decimeter cirka. Substratet i omlöpet bör vara sammanbundet med ordinarie substrat i den naturliga vattenfåran, förslagsvis byggs en ramp med maximal lutning 1:2. Det här garanterar att även bottenlevande organismer har en möjlighet att nyttja omlöpet som habitat. (ICPDR, 2013)

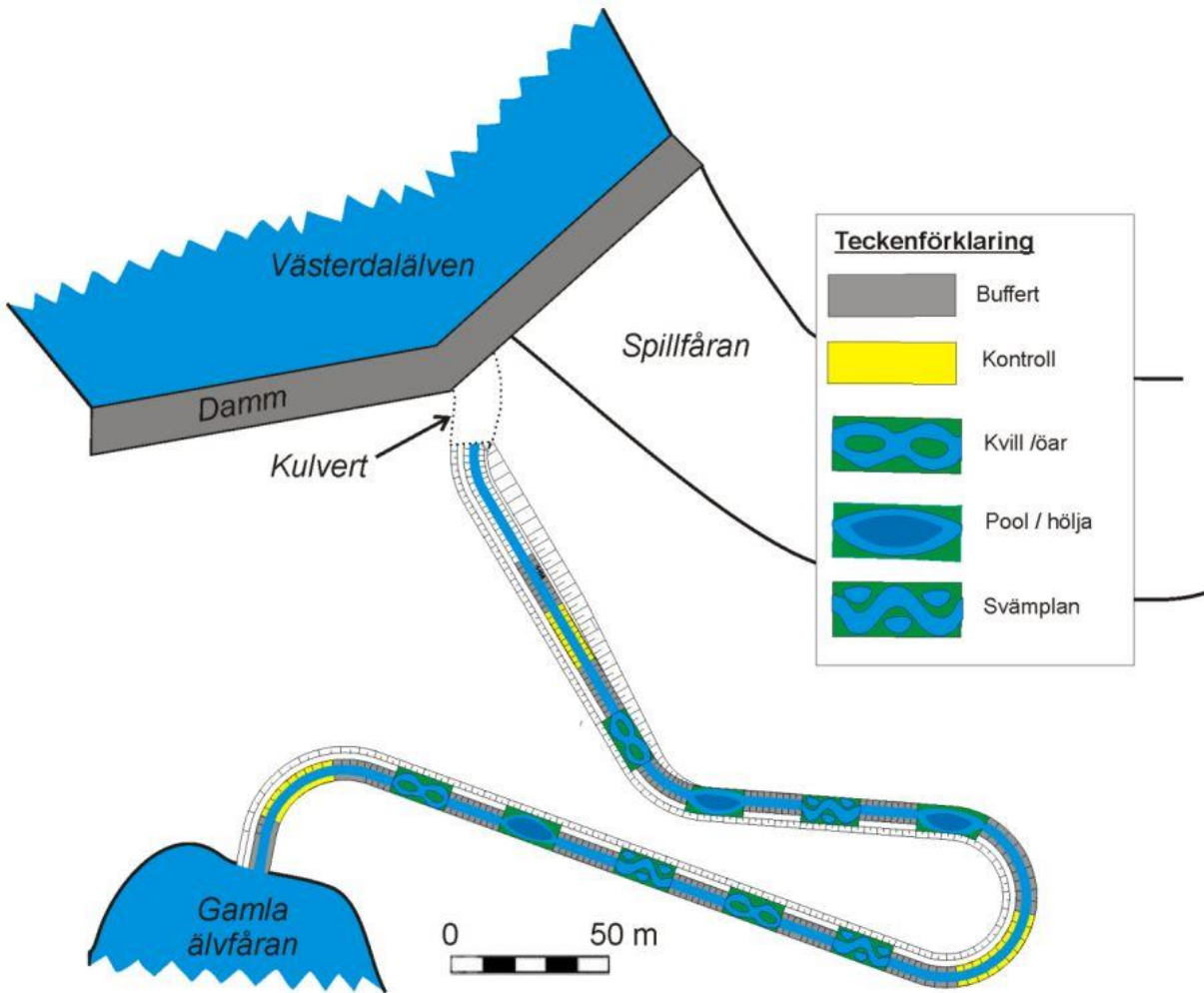
När omlöpet är byggt måste det skötas på rätt sätt för att funktionen ska bestå. Med tiden så kommer fina sediment att ansamlas i bottensubstratet och dessa måste spolats bort årligen. Substratet kommer att förflyttas med tiden, som det gör i naturen, därför måste det konstant fyllas på med nytt substrat i omlöpets övre del. Det är även viktigt att löpande kontrollera vattennivåer och vattenflöde i omlöpet. Den främsta orsaken till dålig funktion hos omlöp är att det rinner för lite vatten genom omlöpet.

Calles (2008) skriver i sin rapport att «De flesta naturliga fiskvägar som anläggs har än idag som huvudsyfte, precis som de tekniska fiskvägarna, att underlätta uppströmsmigration av kommersiellt viktiga och starksimmande arter. Resultatet är att trots att de naturliga lösningarna är mer estetiskt tilltalande än de tekniska fiskvägarna, skiljer sig dess egenskaper från naturliga vattendrag på ett flertal punkter:

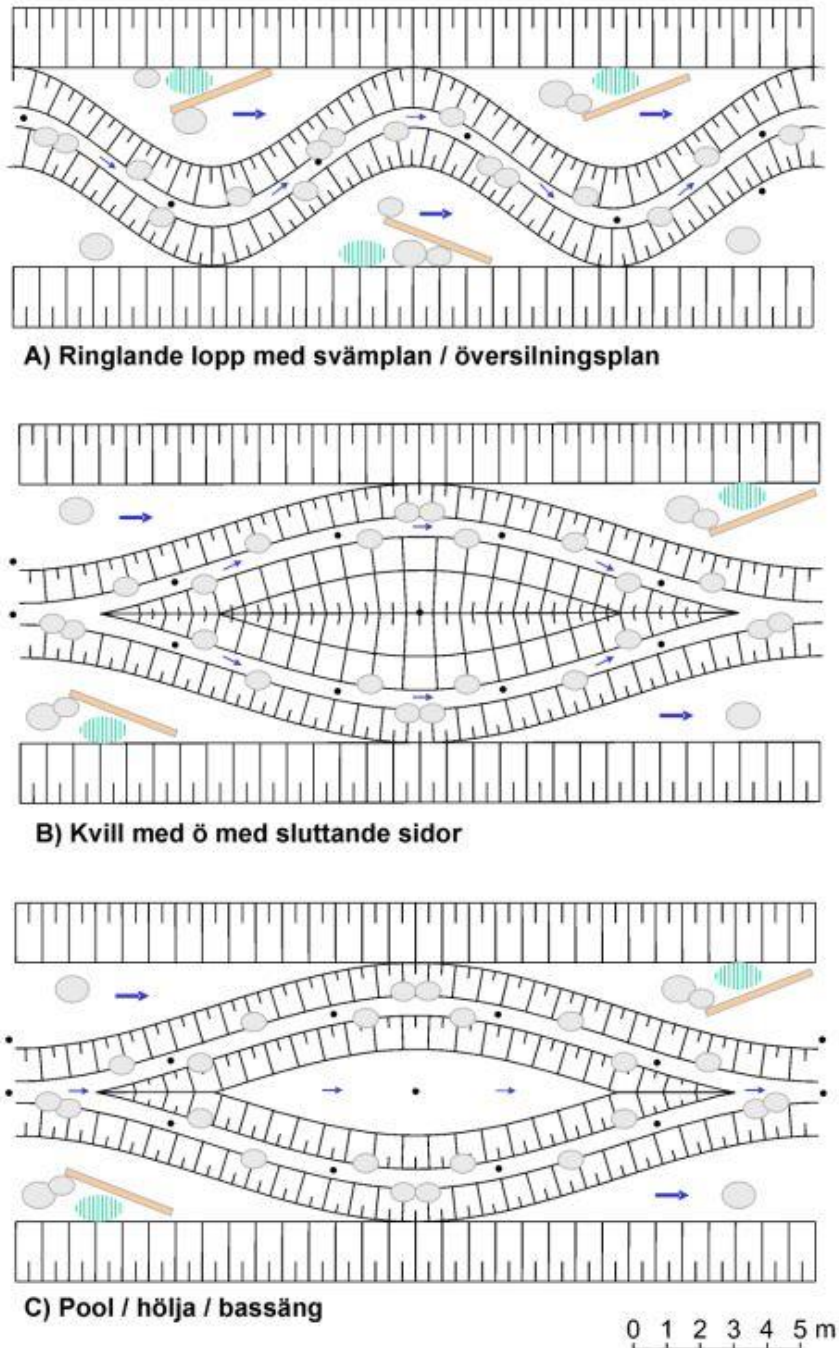
- Lutning, djup och hastighet: fiskvägarna är branta, har få djupa pooler och/eller få grundområden och vattenhastigheten överlag hög.
- Substrat: begränsad variation i substratstorlek med dominans av stora block.
- Lopp/sträckning: monoton bredd och sällan ringlande lopp.
- Flödesregim: stabil, naturliga fluktuationer och höglöden saknas.
- Översilningsplan, kantzon och strandvegetation: översvämningar saknas helt och kantzon och strandvegetation saknas eller avverkas/gallras. »

Det vanligaste misstaget är att man förbiser variationen och den habitatmosaik som finns i ett naturligt vattendrag och istället skapar i stort sett ett och samma habitat i hela omlöpet. Som skrivet tidigare är det viktigt med en variation av habitat eftersom olika fiskarter har olika krav på sitt habitat beroende på vilken fas i livet de befinner sig (Calles, 2008).

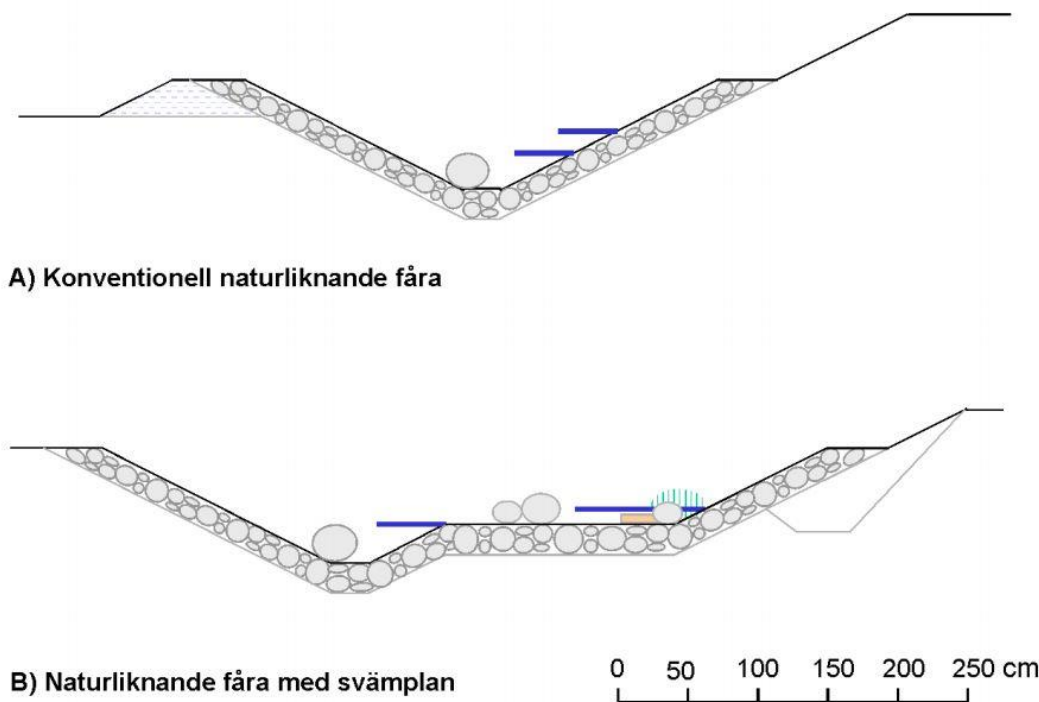
Calles (2008) har i samma rapport skrivit om ett konseptuellt förslag om en biokanal som man har tagit fram och byggt vid Eldforsens kraftverk i Västerdalälven, som har fått namnet "Eldbäcken", se figur 14. Syftet med biokanalen är att kompensera för en del av den biodiversitetsförlust som ofta blir resultatet i reglerade vattendrag. Eldbäcken är konstruerad som en konventionell fåra med bredare partier av tre olika typer som kallas för översilningsplan, kvill och pool, se figur 15. Mellan varje parti finns en buffertzona och en del av Eldbäcken är utan åtgärd och fungerar som en kontrollsträcka för att se vilken artsammansättning man kan förvänta sig från en konventionell naturlig fåra. Mer detaljerad information om Eldbäcken finns i rapporten *Naturlika fiskvägar i dag och i morgon* skriven av Olle Calles et. al. (2008).



Figur 14. Skiss över Eldbäckens biokanal med tre typer av specialsträckor utspridda som pärlor på ett halsband med buffertzoner där emellan. Skissen ritad på Swecos underlag, figur modifierat från original av Fiskevårdsteknik AB. Design och koncept Calles O et a



Figur 15. Principskisser for de tre ulike behandlingarna i Eldbäckens biokanal, Eldforsen. (A) sväm-/översilningsplan, (B) kvillområde, (C) pool. Design och figurer av Fiskevårdsteknik AB. (Calles O. 2012).



A) Konventionell naturliknande fåra

B) Naturliknande fåra med svämplan

Fiskevårdsteknik AB  
Lund 2009-02-24

Figur 16. Underlag för konventionell stigränna i naturlik fåra (omlöp) respektive (B) breddad behandling med svämplan. Design och figurer av Fiskevårdsteknik AB. (Calles O. 2012).

### Utformning av uppströms och nedströms mynning

Nedströms mynning ska riktas mot den plats där fisken vandrar eller samlas nedanför hindret för att erhålla maximal attraktion. Lockvattnet, som leder fisken till omlöpet, ska ha ett kanaliserat flöde, detta eftersom att ju längre ut i fåran den koncentrerade vattenströmmen når, desto bättre blir anlockningen. Enklast görs detta med hjälp av stora stenar. För att locka fisken mot omlöpet kan man se till att öppna den avtappningslucka eller köra den turbin som ligger närmast inloppet för att styra huvudströmmen och fisken dit. (Degerman E, 2008)

Att ange hur stort flödet på lockvattnet ska vara har visat sig svårt. Det finns många studier gjorda som alla har olika resultat. Generellt kan det sägas att ju mer vatten som rinner genom omlöpet desto bättre är anlockningen och den bästa effekten uppnås då 100 % av vattnet leds via fiskvägen, vilket inte är ett realistiskt scenario. Degerman (2008) skriver att lockvattnets hastighet bör vara 60-80% av respektive arts kritiska vattenhastighet, vilket innebär 0,7-1 m/s för vuxen fisk och upp mot 1.5 m/s för vuxen lax. För att uppnå god

anlockning ska lockvattnet strömma ut på lämpligt djup och mynningen ska ligga djupare än normallågvattenståndet (MLQ). Dessutom ska lockvattenflödet kanaliseras för att nå så långt ut i vattendraget som möjligt för bästa effekt.

I rapporten från ICPDR anges att ca 5 % av medelflödet i vattendraget ska rinna genom omlöpet för att erhålla en bra anlockning av fisk. För vattendrag med ett flöde över 50 m<sup>3</sup>/s anges 2 % som tillräckligt. ICPDRs siffror motsägs dock av svenska och internationella erfarenheter där ett betydligt högre flöde har krävts för god anlockning: 6-12% i Mörrumsån, 5-10% vid Kalixälven och 10 % vid Pitlochry i Scotland. För lax och öring har det bedömts att 6-23% av medelflödet i vattendraget ska gå till lockvatten för att erhålla en bra attraktion in i fiskvägen (Degerman, 2008).

Ett knep för att öka lockvattnet är att leda vatten uppströms hindret genom en kulvert under fiskvägen som sedan mynnar ut i botten eller vid sidorna av ingången till omlöpet. En bottenmynning är att föredra eftersom fisk sällan väljer att försöka vandra ner i botten, det vill säga risken för att fisken stannar av i sin vandring är liten. Extra lockvatten kan också fås genom att man från dammen släpper en klunk av höjd vattenföring, så kallad klunkning. Det är en metod som främst fungerar för laxfiskar och går ut på att man tillfälligt ökar vattenflödet under fiskens lekvandring för att styra den mot fiskvägen (Calles, 2013). Metoden har prövats i Sverige med varierande framgång (Calles & Greenberg, 2009) och i de två norska älvarna Orkla och Mandalselva, där effekten uteblev (Thorstad & Heggberget 1998, Thorstad et. Al. 2005). Enligt Hayes (1953) och Archer et. Al (2008) så blir effekten av klunkning bättre för älvar som hade en låg vattennivå innan regulering, i vilka man släpper stora och långvariga klunkar. Lundqvist et.al. (2008) visade att klunkar motsvarande 12-28 % av medelflödet kan ge tydliga positiva resultat. Studien gjorden i Umeälven i norra Sverige som har ett medelflöde på 430 m<sup>3</sup>/s.

I större vattendrag kan strömmen vara så kraftig att fisk och andra djur inte kan korsa mittströmmen utan vandrar längs den ena eller andra stranden. Oftast så finner de då inte en fiskväg belägen på motsatt sida stranden. I sådana fall behövs två fiskvägar. Det finns också tillfällen när en fiskväg behöver två olika ingångar för att underlätta för olika arter eller för att hantera stora skillnader i vattennivåer. (Degerman E, 2008)

Placering av uppströms mynning är också viktigt för fiskens fortsatta vandring. För att undvika predation från rovfisk ska utloppet mynna i närheten av en strandnära ström. Utloppet ska inte mynna för nära turbinintagen eller dammutloppet eftersom det då finns en risk att fisken sugts tillbaka nedströms hindret. Fisken kan vara trött och svag efter att ha vandrat genom omlöpet så därför kan det, i vissa fall, krävas att man leder fisken uppströms, bort från turbinerna, med hjälp av galler, fingrindar eller ledrist. Uppströms mynning bör också skyddas av någon typ av läns som styr undan grenar och bråte. Enklast



är att lägga stockar med kedjor mellan sig i en sned linje framför mynningen. (Degerman E, 2008)

### 3.3 Nedströms passage

Fisk som vandrar nedströms driver i regel med vattenströmmen och migrationen sker därför oftast i den starkaste strömningsriktningen. För att undvika att fisken simmar in till turbinen brukar fingrindor sättas upp framför turbinintaget som gör att smolten stannar upp och söker efter en alternativ väg. Det har visat sig att smolten bara söker av närliggande alternativ när den stoppas upp. Om den inte hittar någon alternativ väg kommer den att försöka simma igenom gallret. De flesta nedströmspassager har en yttlig ingång vilket fungerar bra om turbinintaget ligger relativt nära ytan. Men om intaget till turbinen ligger djupt kommer inte fisken att finna den ytliga smoltrännen (DWA, 2005). Ett exempel på det är från Volgogradskaya reservoaren i Ryssland, där man flyttade ett smoltintag från den litorala zonen (ytzonen) ner till ett djup på 6 meter vilket resulterade i en minskning av fisk som vandrade genom turbinen med en faktor på 200 (Pavlov, 1989).

Den vanligaste åtgärden för att förhindra smolt från att simma in i turbinintaget är, som nämnt tidigare, att installera fingrindor framför intaget. Fingrindorna bör placeras så att smolten leds mot inloppet till smoltrännen. För svenska förhållanden rekommenderas ett galleravstånd på 15 mm. För att undvika att de sätter igen med skräp bör länsar uppströms användas, därutöver får man ha manuell tillsyn eller en maskin som rensar gallret automatiskt. De flesta fiskar reagerar på fingrindorna genom att undvika dem och hålla ett visst avstånd till anordningen samtidigt som de söker efter alternativa vägar nerströms. Ålar brukar däremot först kollidera med gallret för att sedan försöka vända uppströms mot strömmen för att komma undan. Är vattenströmmen för stark kan ål och fisk sugas fast mot gallret. Gallrets orientering mot strömmen är också av betydelse, ju mer vinkelrätt gallret är mot strömmen desto fler fiskar sugas fast mot gallret och skadas. För att undvika skador ska därför gallret vinklas mot strömmen så att den tangentiella hastigheten vid gallret är större än den normala hastigheten. Om möjligt ska platta järn användas istället för runda då fisk lätt kan fastna i galler av rundjärn. Även utlekt lax som oftast är i dålig kondition, riskerar att sugas fast om vattenhastigheten vid gallret är för hög. (Degerman E, 2008)

Utlekt fisk kan styras undan med grova galler med ett avstånd upp mot 50 mm och kan ofta ledas förbi hindret genom ett omlöp eller ett enkelt utskov i dammen, till exempel genom isutskovet. Studier har visat att även andra djurarter såsom grodor, sköldpaddor och änder kan nyttja olika typer av nedströms vandringslösningar. (Degerman E, 2008)

Man kan också leda bort fisken från turbinerna med hjälp av olika typer av beteendepåverkande spärrar. Olika typer av el-, ultraljud-, ljus-, och bubbelridåer har

testats med varierende resultat. Den typ av beteendepåverkande spärr som verkar mest lovande är louversystem. De består av en rad stålplattor som genom sina vibrationer på grund av vattenströmmen skrämmer bort fisken. Nackdelen med Louversystem är underhållet och att de måste monteras ner vintertid för att inte skadas av is. I många vatten är risken för korrosion på stålkonstruktioner hög och det rekommenderas därför att använda offeranoder på fingrindar och louversystem. (Degerman E, 2008)

Vid flera franska vattenkraftverk har försök gjorts på att locka fisk till smoltintaget med hjälp av ljus. Generellt så undviker de flesta fiskarter ljus men det har visat sig att salomonier attraheras av ljus. Olika typer av ljuskällor prövades bland annat vid nedströmspassagen vid vattenkraftverket Halsou vid floden Nive i Frankrike. Resultaten visade att fisken attraherades av ljuset men undvek att simma igenom själva ljuskäglan. Den strategi som rekommenderas i studien är att installera en 400W lampa strax uppströms intaget till fiskpassagen för att locka fisken till närheten av intaget. Genom att låta lampan vara tänd i 30 minuter och sedan släckt i 15 minuter får fisken ett fönster där den kan simma in i fiskpassagen. I tillägg kan en 50-80 W lampa installeras inne i fiskpassagen för att fungera som ett vägledande ljus. Studien visar att det är möjligt att öka anlockningen till fiskpassagen med hjälp av ljus. Studier gjorda av Ransom & McFadden (1987) och Martinson et al. (1997) på smoltövervakning visar att 60% till 90% av passagerna genom turbinerna vid John Day and Lower Monumental Dams skedde mellan 18:00 och 06:00. Ferguson et al. (2005) fann också att nedströmsvandrande smolt som ankommer till en dam under dagtid snabbt passerar dammen genom ytliga utlopp och utskov, om dessa finns tillgå medans de väntar med att passera genom turbinen först när det har blivit mörkt ute. Ferguson J. (2005) skriver i sin rapport att om fisken hittar ett ytligt beläget utskov eller utlopp kommer den att använda det ifall förhållandena vid ingången är acceptabla. Annars verkar det som att de flesta fiskarna vänta vid dammen så länge det är dagsljus för att sedan simma genom turbinen när mörkret faller. Ferguson förmodar att det är ett resultat av att fisken har tappat visuella referenser på grund av brist på dagsljus eller att instinkten att fortsätta vandra blir större än behovet av att stanna och utforska den nya omgivningen.

Även om fisken hittar ingången till fiskpassagen så är de viktigaste faktorerna för en effektiv fiskpassage de hydro-mekaniska förhållandena och placeringen av ingången såväl som ett bra flöde genom fiskpassagen eftersom laxsmolten är mycket känslig för hydrauliska variationer (DWA, 2005). För att erhålla en bra effektivitet hos fiskpassagen är det av stor vikt att turbulens undviks och att hastigheten i fiskpassagen stadigt ökar tills dess att den har passerat smoltens simförmåga så att de flyter med. Detta kan enklast uppnås genom ett trattformat intag. Det anses även viktigt att nedströmspassagen har en vattenhastighet som är större än vattenhastigheten i huvudströmmen för att locka in fisken, utan att vattenströmmen blir för stark, eftersom det då kan få fisken att tveka. Det

finns en risk att intaget till fiskpassagen sätter igen och man måste därför se till att intaget designas så att flytande bråte kan ledas bort. Den vanligaste och en mycket effektiv lösning är att installera ett grovt galler en bit uppströms som fångar upp större partiklar. Nackdelen med ett grovt galler är att den kan fungera som en beteendepåverkande barriär som vilseleder smolten bort från intaget till fiskpassagen. En annan lösning kan vara att installera en läns uppströms som stoppar upp flytande bråte. (DWA, 2005).

Nedströmspassagen ska utformas så att fisken inte skadas. Det ska inte förekomma några stora fall och helst ska passagen vara utformad som ett inlöp eller omlöp. Det är möjligt att använda samma fiskväg som för uppströmsvandring men flera försök har visat att vattenflödet oftast är för litet för att fisken ska välja denna väg (Degerman E, 2008). Rekommenderat flöde i fiskpassagen för att den ska ha en tillfredsställande hydraulisk effekt är 2-10% av turbinflödet beroende på hur förhållandena på platsen ser ut (DWA, 2005). I en studie skriven av Calles O & Greenberg LA (2005) studerades ett omlöp vid Finnsjö kraftverk där man observerade att de flesta fiskar som vandrade upp genom omlöpet också vandrade ner genom omlöpet.

I DWAs rapport skrivs det om en fransk studie som undersöker placering av intagsdesign som säger att bredden på intaget ska vara minst 0.5-1 meter. Vattendjupet i nedströms vandringslösning ska inte vara lägre än 0.4 meter. Större vattendjup förbättrar effektiviteten så det kan förbättra funktionen genom att öka djupet på bekostnad av kanalens bredd om det är ont om vatten. Djupet i fiskpassagen är oftast reglerad med en lucka. Vid den franska dammen Poutés i floden Allier kan hela intaget till fiskpassagen höjas och sänkas som en enhet beroende på vattennivån i reservoaren.

Oftast är det för dyrt och ont om plats att anlägga två omlöp, ett för uppströms vandring och ett för nedströms, fiskpassagen kan då istället designas som en öppen kanal eller ett rör. Passagen måste designas så att fisken inte skadas till följd av exempelvis en plötslig ändring i tryck, tvärkrafter, turbulens och kraftiga stötar. Om ytan inte är tillräckligt slät kommer fisken att få rivsår och skrubbsår. För att undvika skador får inte hastigheten i rännan överstiga 12 m/s enligt Travade & Larinier (1992). Fiskpassagen ska sluta ovanför vattenytan nedströms hindret så att fisken får falla fritt den sista biten. Det har visat sig att fisk som faller fritt har högre överlevnad än fisk som färdas i vatten hela vägen. Det beror på att när fisken träffar vattenytan från ett vattenfyllt rör så kommer den att belastas av stora tvärkrafter när vattnet i röret kraftigt bromsas upp. Vattenutloppet ska placeras horisontellt och vara placerad 1.8 till 2.4 meter ovanför nedströms vattenyta enligt Odeh & Orvis (1998). Laboratorietester visar att fisk kan överleva kollisionshastigheter med vattenytan upp till 16 m/s. Amerikanska myndigheter har satt 7-8 m/s som en rekommenderad övre gräns för fiskens kollisionshastighet med vattenytan för att vara säker på att undvika skador.

Ett annat alternativ till nedströms passage för fisk är att låta fisken passera genom ett spillutskov över dammen. Enligt en rapport skriven av BioSonics Inc. (1999a, b) så passerade en stor andel smolt genom ett utskov över en damm, som spillde över hela dygnet, under både natt- och dagtid. I Columbiafloden har nedströms passage tillåtits ske via utskov vid flera större dammar för att öka överlevnaden hos smolt som vandrar nedströms. Generella fördelar som har identifierats med spill över dammen är minskad dödlighet, minskad vandringsfördröjning, minskad exponering för predation samt minskad exponering för höga vattentemperaturer och sjukdomar (Whitney et al, 1997;. Muir et al, 2001;. Giorgi , 2002). Whitney et al. (1997) granskade 13 olika uppskattningar av dödligheten för laxfiskar som vandrat över dammen genom ett utskov, alla publicerade 1995, och drog slutsatsen att den mest sannolika dödligheten för standard utskov är 0.00-0.02. De påpekade även att lokala förhållanden nedströms dammen som gynnar förekomsten av rovdjur kan leda till högre dödlighet. Tidigare studier har visat att överlevnaden för smolt som passerar dammarna i Columbiafloden generellt är störst för passager som sker genom utskov, följt av bypass-system, och sist genom turbinerna (Schoeneman, Pressey & Junge, 1961;. Whitney et al, 1997;. Muir et al, 2001) . Ruggles & Murray (1983) granskade fiskpassager genom utskov vid kanadensiska dammar och drog slutsatsen att utskov inte en allvarlig källa till fiskdöd. De påpekade att fisk kan skadas genom snabba tryckförändringar, snabb inbromsning, skjuvkrafter, turbulens, nötning och kraften från fallande vatten vid fritt fall.. De noterade att skador på fisken började inträffa när fisken hastighet då den träffade vattenytan översteg 16,2 m/s. En annan orsak till skador är om bassängen nedanför utskoven är för grund eller innehåller stenar som fisken kan skada sig på Absolon et al. (2002).

Försiktighetsåtgärder bör tas mot predation av fisken i bassängen under fiskpassagen utlopp eftersom den ofta är desorienterad efter att ha åkt genom smoltrännen. Vilken typ av åtgärd som bör tas beror på vilket typ av hot som finns mot smolten. Om det finns risk för predation från rovfiskar bör utloppet placeras långt nedströms vandringshindret. Om det finns risk för predation från fågel och landlevande djur kan vatten sprayas på vattenytan för att förstöra vattenspegeln och hindra rovdjuren från att upptäcka fisken, alternativt plantera vegetation som hindrar rovdjuren från att komma åt fisken (DWA, 2005).

### 3.4 Resultat från litteraturstudie

Litteraturstudien visar att det finns många studier gjorda på omlöp och naturliga fiskvägar. Gemensamt med dessa är att alla omlöp är unika och konstruerade efter förhållandena på platsen. Många studier visar också på att den största utmaningen med att ett omlöp är att få en långvarig funktion. Ett omlöp måste ständigt underhållas för att bibehålla en bra funktion.

Nedan följer en sammanställning över alla identifierade villkor som behöver uppfyllas för att erhålla en god funktion hos ett omlöp.

VILLKOR	BESKRIVNING
Bottenlutning	Högsta rekommenderade lutning är 1.5 %. Lutningen kan vara upp mot 5 % om det finns gott om viloplats
Vilobassänger	Ska anläggas var 75-100:e meter. Ska utformas som grunda och breda habitat. Minsta dimension (längd x bredd) är 3 x 2 av fiskens längd.
Habitat	Längre omlöp ska utformas som ett naturligt strömningsparti med uppväxthabitat för fisk.
Reglering av flöde	Ett reglerbart utskov ska helst installeras i den övre delen av omlöpet. Annars ska inloppet ha en skarp V-skuren profil.
Nedre mynning	Placeras där fisken samlas nedströms hindret. Mynningen ska vara riktad ut mot ansamlingspunkten och ligga under normalt lågvattenstånd (MLQ).
Övre mynning	Den övre mynningen ska leda ut i en strandnära ström tillräckligt långt ifrån turbinintaget. Mynningsdjupet bör vara det samma som i fiskvägen. Mynningen ska skyddas från flytande skräp.
Lockvatten	Hastigheten ska vara 0.7-1.5 m/s. Flödet ska kanaliseras. Lockvattnet ska utgöra 6-23 % av medelflödet i vattendraget.
Flöde	Ju större flödet är desto bättre fungerar fiskpassagen. Minsta flöde som krävs är beroende av fiskens storlek och art. En lax på en meter behöver minst 500-550 liter/sekund.
Hastighet	Högsta hastighet är 1,9 m/s om vilobassänger finns. Högsta hastighet är 1,1 m/s om vilobassänger saknas.
Djup	Minsta fria vattendjup ska vara 2,5 gånger fiskens kroppshöjd.
Substrat	Substratet ska bestå av större stenar, klappersten och grus. Stora stenar ska sticka upp 1 decimeter över ytan. Substratet i fiskvägen ska vara sammanbundet med substratet i den naturliga vattenfåran.

Skyddande vegetation	Vilobassänger och lugnare partier ska ha skyddande vegetation skyddande vegetation från exempelvis träd och buskar.
Underhåll	För att fiskvägen ska bibehålla god funktion måste en underhållsplan finnas för varje fiskväg. Fiskvägens funktion ska kontrolleras med jämna intervall.

## 4 Studieområde

I det här kapitlet presenteras kort information om Anundsjös kraftverk och en beskrivning av fältresan och de fynd som gjordes i mitten av april.

Anundsjö kraftverk är beläget i Norra Anundsjöån vid Edet några kilometer norr om Bredbyn i Ångermanland, Västernorrlands län. Kraftverket byggdes 1953 och har en fallhöjd på 61 meter, effekten är 5 MW och normalproduktionen är 26 GWh. Turbinen är placerad 61 meter under mark och turbinvattnet mynnar ut strax väster om Anundsjön (Statkraft, 2016). I dagsläget finns det inget som hindrar fisken från att simma in i tunneln där turbinvattnet mynnar ut vilket försvårar för fisken att finna vägen till omlöpet då turbinvattnets flöde är mycket högre än flödet som leder upp till omlöpet.



Figur 17. Översiktskarta som visar omlöpets placering.

Vecka 15 gjordes ett platsbesök till Anundsjö kraftverk för att mäta in omlöpet. Vid mätningarna var det angivna flödet i omlöpet 275 liter per sekund, dock så upplevdes det verkliga flödet högre än 275 liter per sekund. För att den hydrauliska modellen ska bli riktigt kalibrerad är det väldigt viktigt att veta flödet vid mättillfället så för att säkerställa storleken på flödet i omlöpet anlätades en konsult. Resultatet visade att det verkliga flödet vid mätningarna var 340 liter per sekund, vilket tyder på att luckan som reglerar flödet är felinställd.

Det var vid mättillfället fortfarande is kvar i omlöpet vilket gjorde att inte hela omlöpet kunde mätas in. Den nedre halvan av omlöpet var i stort sett fortfarande helt täckt av is vilket gjorde det omöjligt att mäta, medans den övre halvan var nästan helt öppen med en del is längs kanterna. Det mesta av isen i den övre halvan av omlöpet kunde knackas bort.



*Figur 18. Vid mättillfället i april var det fortfarande mycket is i den nedre delen av omlöpet vilket gjorde det omöjligt att mäta där. Foto: Författaren.*

Den övre delen av omlöpet såg väldigt likformig ut. Alla ståndstenar var placerade i mitten av rännan och hade samma avstånd mellan varandra. Flödesmönstret såg också likformigt ut för hela den övre delen av omlöpet. För att försöka få bort en del is i den nedre delen av omlöpet ökades flödet i omlöpet över natten mellan måndagen och tisdagen. Tanken var att isen skulle lyftas upp av den ökade vattenmängden och släppa från kanterna så att man enkelt kunde knacka bort den, dock så uteblev resultatet och det beslutades att den resterande delen av omlöpet skulle mätas in av konsult i mitten av maj.





Figur 19. Ståndstenarnas placering i den övre delen av omlöpet. Foto: Författaren.

De första 15 meterna i omlöpets nedersta del var väl strömsatta och bestod av ett brantare parti som gav en högre vattenhastighet. Resultatet blir att lockvattnet når längre ut i torråran vilket är positivt. Lockvattnet såg också ut att vara kanaliserat. Torråran nedströms dammen har blivit biotopåtgärdad med en mindre ränna i mitten av den gamla fåran som ska fungera vid ett flöde på 800 liter per sekund. Vid platsbesöket i april gick det inte att se biotopåtgärden eftersom man spillde vatten från dammen och flödet i torråran var mycket högre än 800 liter per sekund.

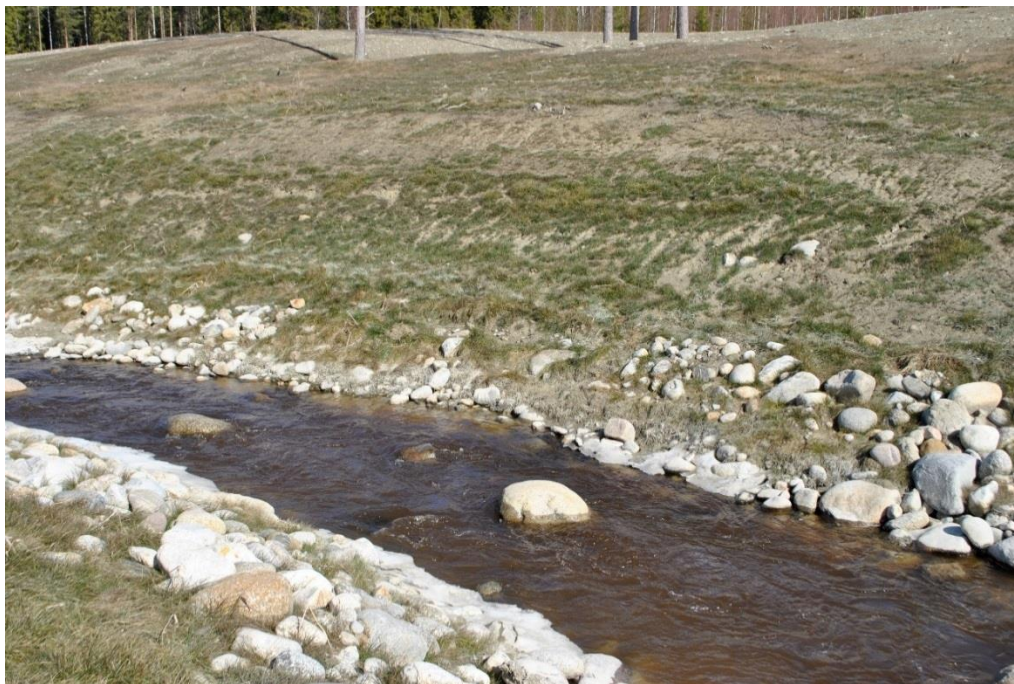
Som man kan se i figur 20 är en stor yta runt omlöpet avverkat utan att någon återplantering är gjord. En konsekvens av det här blir att fisken inte känner sig säker när den vandrar i omlöpet eftersom det saknas vegetation som ger skydd från predatorer och den kan då välja att inte vandra upp i omlöpet. En annan konsekvens av avverkningen är att jorden inte är bunden av vegetation och området runt omlöpet blir då utsatt för stor erosion. Figur 21 visar tydliga tecken på erosion i området. Man kan även se att den östra kanten trycks in mot omlöpsfåran. Små ras har skett på vissa ställen längs kanten och bottenstrukturer är helt borta ovanför vattenytan på vissa ställen. När sommarflödet höjs kommer vattennivån att öka vilken kan leda till stor skada och erosion på de ställen där det inte finns något substrat kvar, se figur 22.



Figur 20. En stor yta runt omløpet har blitt avverket hvilket kan leda till kraftigt ökad erosion. Foto: Författaren.



Figur 21. Runt större delen av omløpet kunde erosion av kanterna observerats. På bilden syns ett av de värst drabbade ställerna. Foto: Författaren.



Figur 22. Substratet har försvunnit ovanför vattenytan vilken kan leda till kraftig kanterosion vid högre vattennivåer. Foto: Författaren.

Runt vattenlinjen i figur 23 ser man tydligt hur sediment rinner ner i omlöpet och nedanför dammen syns en tydlig färgskillnad på vattnet som har spillt över dammen och vattnet som har runnit genom omlöpet. Risken med att ha mycket sediment i omlöpet är att de riskerar att ansamlas i den biotopåtgärdade fåran vid den nedre mynningen av omlöpet och i lugnare partier i omlöpet som kommer att skapa problem för vandrande fisk och påverka funktionen hos omlöpet. Inga vilobassänger kunde identifieras. Det finns lugnare partier i omlöpet och ståndstenar som skapar strömlä. Det finns inga vilobassänger i torrån heller för fisken, som förväntas att simma utan att vila. Fiskar vandrar inte konstant, utan de tar sig förbi ett parti till en terrass/bassäng där den vilar innan nästa etapp påbörjas.

Slitsrännan är felaktigt projekterad och konstruerad. Botten på slitsrännan saknar lutning vilket resulterar i att steget från poolen in i slitsrännan blir högt. Högsta rekommenderade höjd mellan slitsarna är 15 centimeter och i dagsläget är höjden på det första steget närmare 30 centimeter. En tillfällig lösning har gjorts för att höja vattennivån i poolen genom att dämna upp en del av utloppet från poolen. Det är inte tillräckligt utan höjdskillnaden måste minskas ännu mer.

För att kontrollera ifall fisk simmar genom omlöpet kommer en fiskeräknare att installeras. Initialt skulle fiskräknaren installeras i slitsrännan men eftersom den är felkonstruerad har

Statkraft valt å installera fiskrånaren i omløpet så længe og lämna slitsrånna orrd. Det kommer förmodligen att bli en råttsprocess mellan Norconsult og Statkraft gällande slitsrånna konstruksjon. Slitsrånna är felkonstruerad og det kommer att bråkas en del med konsulten som konstruerade den, därför vill man lämna den orrd.



Figur 23. I nederkanten syns tydeligt hur eroderade sediment från kanterna rinner in i omløpet. Foto: Författaren.

Vid platsbesøket fanns det inget som stoppar smolten från att simma ner i turbinintaget. Senare under året kommer en 1.5 meter djup finmaskig läns att sättas upp framför turbinintaget för att hindra smolten att simma ner i turbinen, länslösningen är godkänd av miljødomstolen. Fingaller, som rekommenderas, valdes bort på grund av kostnadsskål. Ingången till smoltrånna är placerad precis bredvid turbinintaget där strømmen är som starkast. Det är möjligt att länsen påverkas av den starka strømmen. Metoderna är inte prøvade än eftersom omløpet invigdes høsten 2015. Det finns inget galler som leder in smolten till den ytliga ingången till smoltrånna utan tanken är att flødet in i smoltrånna ska vara sterk nog. Det kommer även att sättas upp en timmerläns framför smoltrånna og omløpet som hindrar skrap från att sætta igen ingångarna. Efter intaget till smoltrånna simmar fisken i en smal kanal som øvervakas av en kamera där personal kan se hur mycket fisk som går genom smoltrånna samt se ifall det ligger skrap i vægen som behøver plockas bort. Sista stræckan till utløppet åker åker smolten i ett 10 meter långt rør

innan den släpps ner i älvfåran nedströms dammen. Röret slutar ca 1.5 meter upp i luften och sedan får smolten falla fritt ner till vattenytan. Utgången är relativt horisontell.



## 5 Resultat

I frekvensfördelningen finns alla datapunkter från varje simulering. För tvärsektionerna har endast data för omlöpets centerlinje använts. I det här kapitlet kommer endast frekvensfördelningarna att presenteras. Övriga bilder och grafer som refereras till i texten återfinns i appendix 4 och 5.

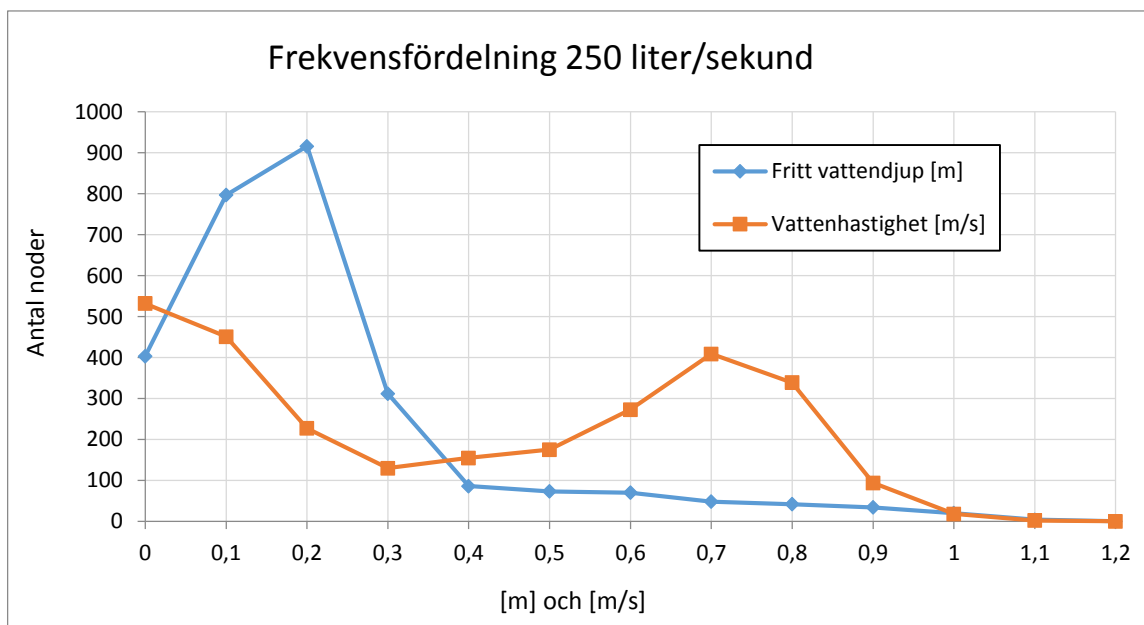
### 5.1 Simulering av projekterad modell

Här kommer resultaten från modellen med relationshandlingarna som underlag att presenteras.

#### Vattenflöde 250 liter/sekund

Vattendjupet är runt 20 centimeter ner till 30 centimeter på det djupaste stället i omlöpets centerlinje. Frekvensfördelningen (figur 24) visar att de flesta punkterna i kanalen har ett djup mellan 10 och 30 centimeter och att det vanligaste djupet är 20 centimeter.

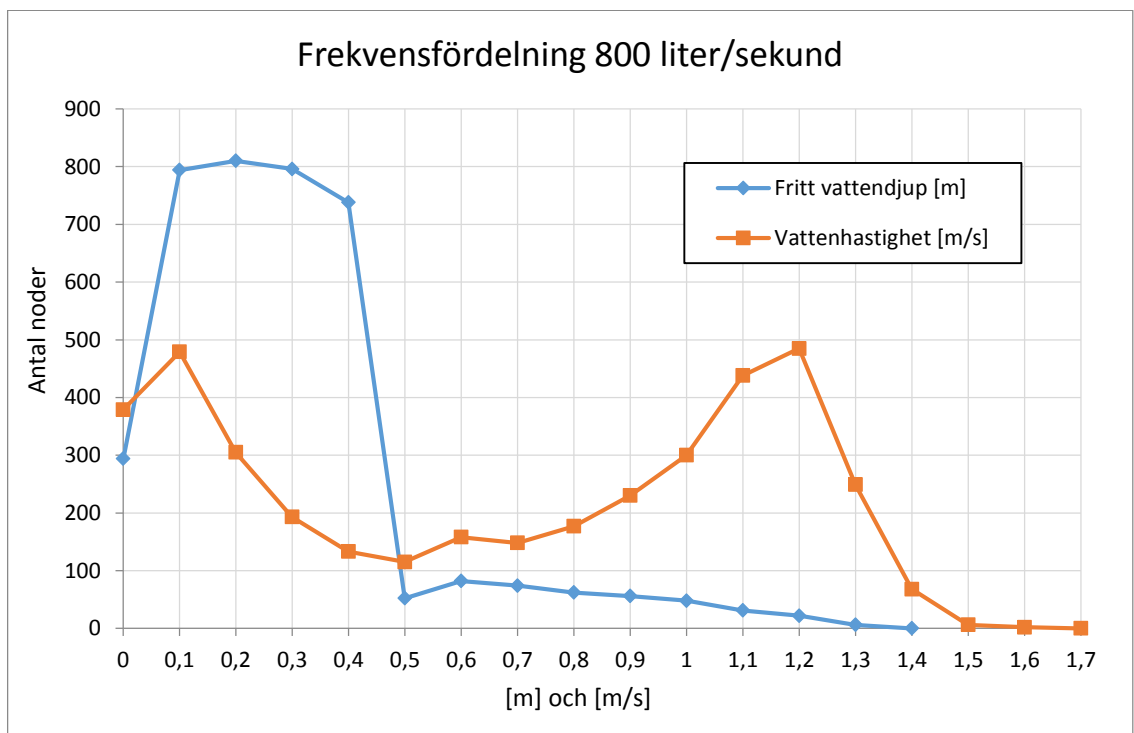
Vattenhastigheten varierar något i omlöpet men har i stort sett en likformig distribution. Frekvensfördelningen visar att vattenhastigheten i den djupare mittrännen är mellan 0.5 till 0.9 m/s. Det finns också många noder som har en låg vattenhastighet mellan 0 och 0.3 m/s. De här noderna ligger antingen vid omlöpets kanter eller i bassängen i slutet på omlöpet.



Figur 24. Frekvensfördelning av vattendjup och vattenhastighet för det projekterade omlöpet. Vattenflöde 250 liter/sekund.

### Vattenflöde 800 liter/sekund

Vattendjupet är runt 30 centimeter för en stor del av omlöpet och i den djupaste mittfåran är djupet runt 40 centimeter. Frekvensfördelningen (figur 25) visar att de flesta noderna har ett djup mellan 10 och 40 centimeter och som bilden i figur 59 i appendix 4 visar är de noderna med ett större djup belägna i mitten av omlöpet och de noderna med ett grunt djup är belägna vid omlöpets kanter. Vattenhastigheten varierar i omlöpet beroende på geometrin. I längre raka partier växer hastigheten och i svängarna sjunker hastigheten något. Den högsta hastigheten återfinns i omlöpets centerlinje. Frekvensfördelningen visar att hastigheten varierar mellan 0.6 till 1.4 m/s och den vanligaste hastigheten, hastigheten i flest noder, är 1.2 m/s.



Figur 25. Frekvensfördelning av vattendjup och vattenhastighet för det projekterade omlöpet. Vattenflöde 800 liter/sekund.

### 800 liter/sekund med inslag av stenar och bassänger

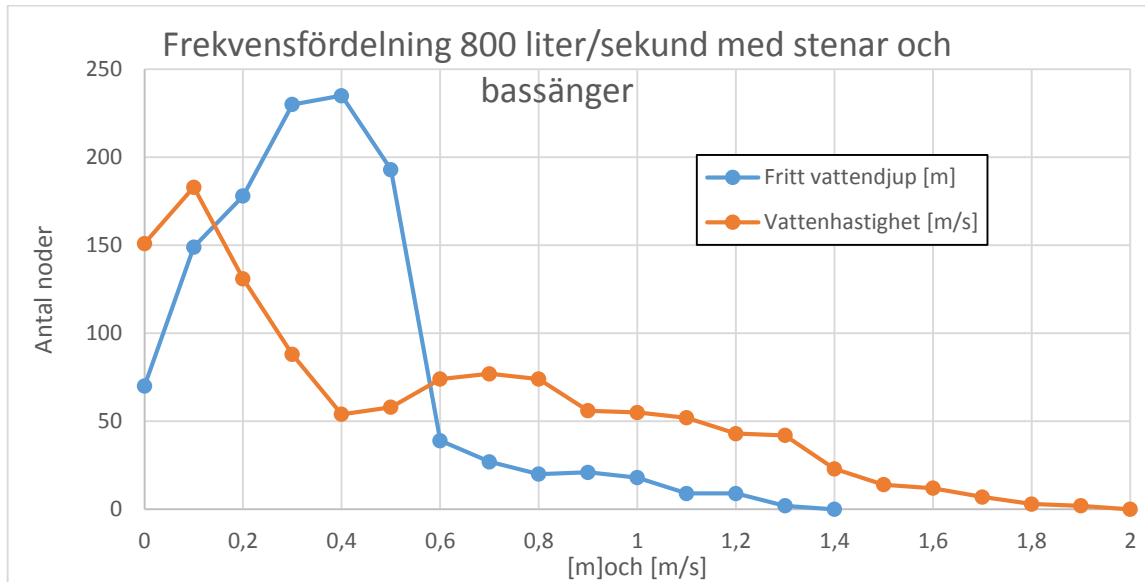
För att se hur förhållandena i omlöpet förändras av stenar och utgrävda bassänger gjordes en simulering vid flödet 800 liter/sekund av den övre delen av det projekterade omlöpet där sex stenar och tre bassänger lades till manuellt. Bassängerna har en platt botten med samma höjd som punkterna i bassängens nedersta del vilket gör att det blir ett litet



trappsteg ner i bassängens översta del. Bassängerna har också breddats för att få se effekterna av en förändrad geometri i omlöpet.

Om man studerar djupet i omlöpet i figur 63 appendix 4, ser man att det även spelar roll var ståndstenarna placeras. I den översta vilobassängen är det ingen förändring i vattendjup utan vattendjupet är samma som innan bassängen grävdes ut, det finns en ståndsten placerad en bit nedströms den här bassängen som inte ger någon uppdämd effekt i bassängen utan endast strax uppströms själva stenen. För den andra vilobassängen som har en ståndsten placerad alldeles i slutet av bassängen är effekten en helt annan. Dämningseffekten från ståndstenen gör så att vattendjupet i hela vilobassängen ökar med 10-15 centimeter. Frekvensfördelningen i figur 26 visar att de flesta noder har ett djup mellan 10 och 50 centimeter.

Figur 64 appendix 4 visar att vattenhastigheten varierar för de olika sektionerna. Vattenhastigheten är som högst, upp till 2 m/s, vid trappsteget i bassängernas överkant. I bassängerna är vattenhastigheten låg. Förbi stenarna är vattenhastigheten något högre och bakom stenarna är den något lägre. I frekvensfördelningen kan man se att endast några få ståndstenar gör att hastighetsfördelningen börjar anta en normalfördelad kurva och den andra puckeln i fördelningen som synd tydligt för det projekterade omlöpet är borttraderad.



Figur 26. Frekvensfördelning av vattendjup och vattenhastighet för den övre delen av det projekterade omlöpet med inslag av stenar och bassänger. Vattenflöde 800 liter/sekund.

## 5.2 Simulering av innmätt modell

### Vattenflöde 250 liter/sekund

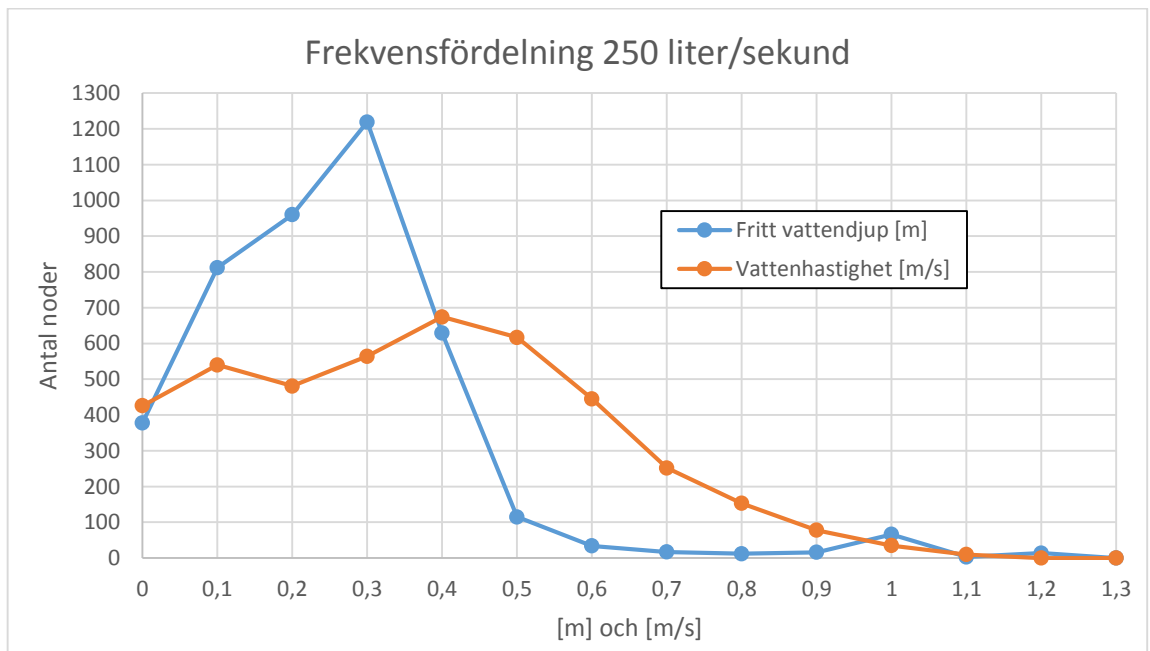
Vattendjupet varierar svagt för olika sektioner i omlöpet. För den större delen av omlöpet är djupet runt 30 centimeter och sedan finns ett flertal djupare partier, i nedersta delen av omlöpet efter den första kurvan är ett djupt parti som är runt 45 centimeter djupt. Det finns även små korta grunda partier där vattendjupet är runt 20 centimeter.

Frekvensfördelningen (figur 27) visar att det vanligaste djupet är 30 centimeter och de flesta noder har ett vattendjup mellan 10 och 40 centimeter.

Vattenhastigheten varierar mycket och det är få längre sektioner som har en konstant hastighet. Ett undantag är en lång raksträcka i nedre delen av omlöpet som saknar ståndstenar och vilobassänger där vattenhastigheten är 0.7 till 0.9 m/s.

Frekvensfördelningen visar att hastigheterna i omlöpet sträcker sig från 0 till 0.7 m/s där den vanligaste hastigheten är 0.4 m/s. Det finns även partier där hastigheten är upp mot 1 m/s. Fördelningen mellan de olika hastigheterna är jämnare än fördelningarna för det projekterade omlöpet.

I appendix 5 visas hur omlöpets botten och vattennivå varierar längs centerlinjen. Ståndstenar som låg i centerlinjen har också märkts ut i figuren.



Figur 27. Frekvensfördelning av vattendjup och vattenhastighet för det innmätta omlöpet. Vattenflöde 250 liter/sekund.

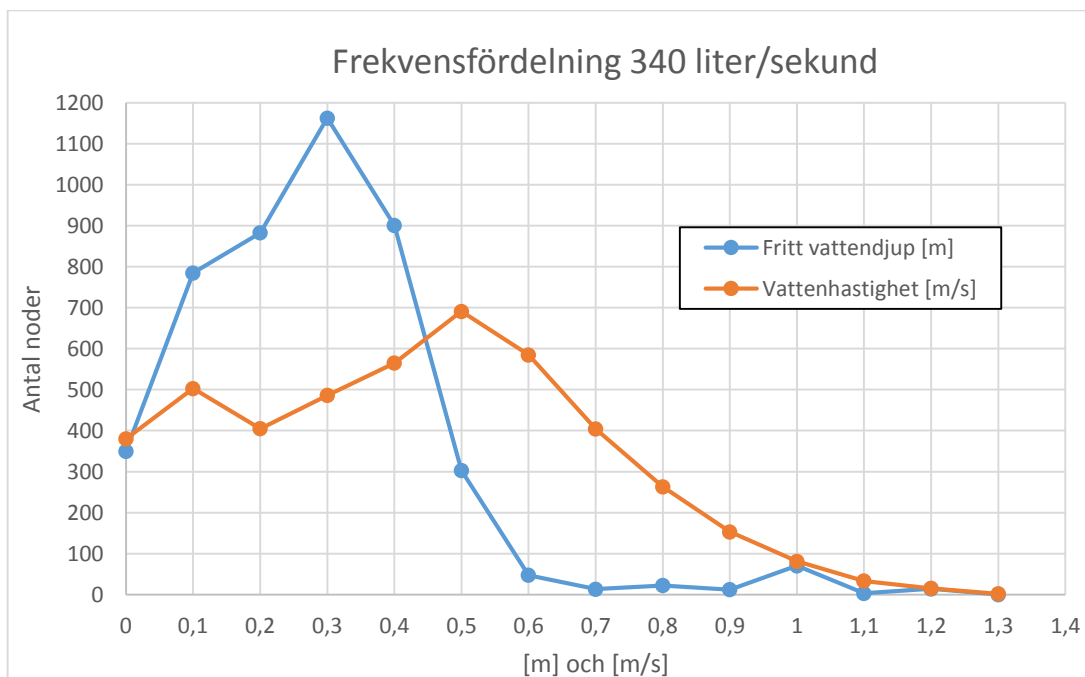
### Vattenflöde 340 liter/sekund

Simulering av flödet 340 liter/sekund är inget som ingår i projektets uppdragsbeskrivning, men eftersom resultaten ändå finns att tillgå från simuleringen så kommer de att presenteras som en parantes.

Vattendjupet varierar svagt för olika sektioner i omlöpet. För den större delen av omlöpet är djupet runt 30-40 centimeter och sedan finns ett flertal djupare partier, i nedersta delen av omlöpet efter den första kurvan är ett djupt parti som är runt 45-50 centimeter djupt. Det finns även små korta grunda partier där vattendjupet är runt 20 centimeter. Frekvensfördelningen (figur 28) visar att det vanligaste djupet är 30 centimeter och de flesta noder har ett vattendjup mellan 10 och 45 centimeter.

Vattenhastigheten varierar mycket och det är få längre sektioner som har en konstant hastighet. Ett undantag är en lång raksträcka i nedre delen av omlöpet som saknar ståndstenar och vilobassänger där vattenhastigheten är 0.7 till 1 m/s.

Frekvensfördelningen visar att hastigheterna i omlöpet sträcker sig från 0.2 till 0.8 m/s där den vanligaste hastigheten är 0.5 m/s. Det finns även partier där hastigheten är upp mot 1.2 m/s. Fördelningen mellan de olika hastigheterna är jämnare än fördelningarna för det projekterade omlöpet.

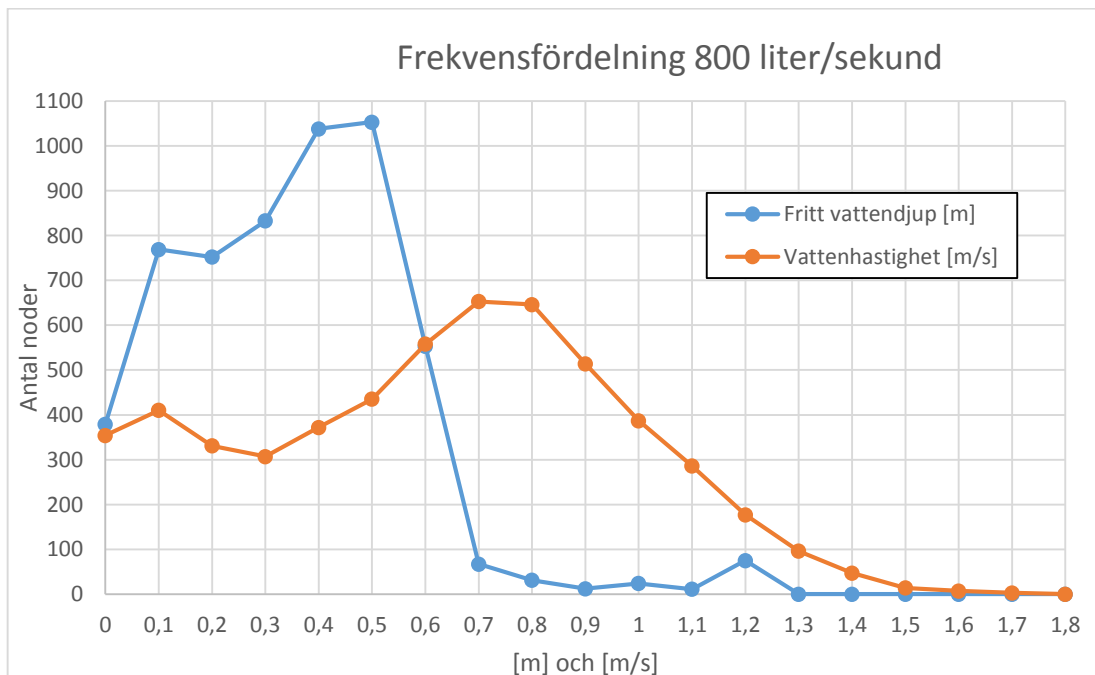


Figur 28. Frekvensfördelning av vattendjup och vattenhastighet för det inmätta omlöpet. Vattenflöde 340 liter/sekund.

### Vattendjupet 800 liter/sekund

Vattendjupet är ganska likformigt för de olika sektionerna i omlöpet. För den större delen av omlöpet syns tydligt ståndstenarnas dämmande effekt och i partier där det är tätt mellan stenarna är det också djupare mellan stenarna. Djupet i omlöpet som saknar ståndstenar eller har mindre stenar är runt 40 centimeter och i centerlinjen där det är tätare med stenar är djupet upp till 65 centimeter. Det finns även små korta grunda partier där vattendjupet är runt 30 centimeter. Frekvensfördelningen (figur 29) visar att det vanligaste djupet är 40-50 centimeter och de flesta noder har ett vattendjup mellan 30 och 60 centimeter. Det finns många noder som har ett vattendjup grundare än 30 centimeter men flertalet av de här ligger längs omlöpets kanter, dock inte alla.

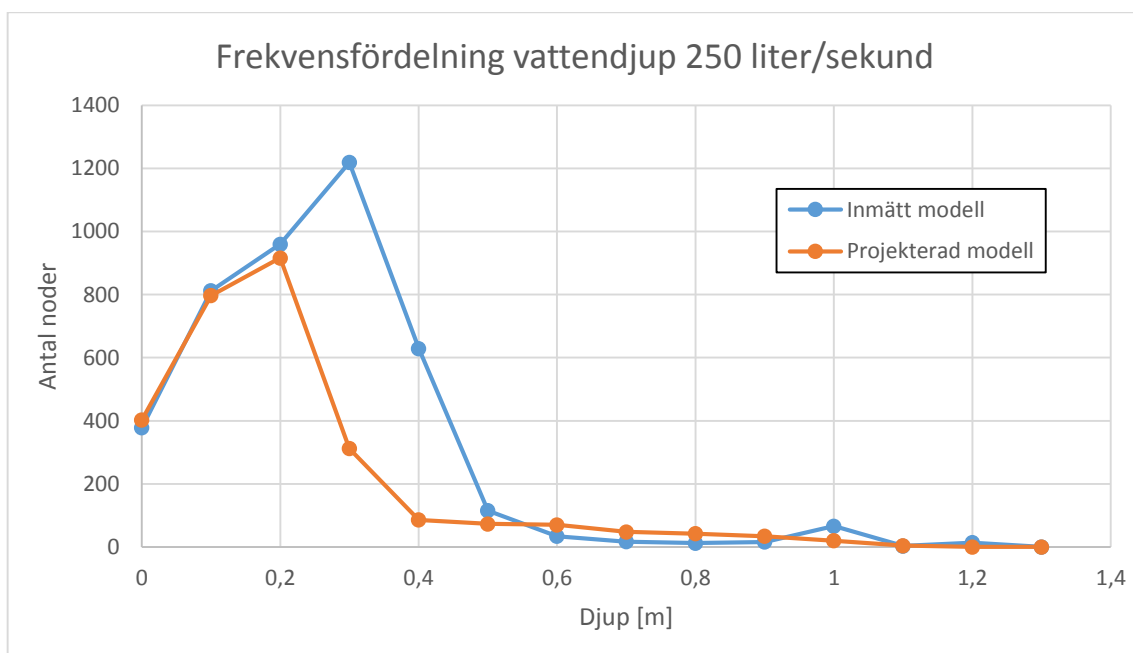
Vattenhastigheten varierar mycket och det är få längre sektioner som har en konstant hastighet. Även här är det undantaget den långa raksträcka i nedre delen av omlöpet som saknar ståndstenar och vilobassänger där vattenhastigheten är 1.2 till 1.4 m/s. Runt ståndstenarna varierar hastigheten mest, hastigheten är hög förbi stenarna och lägre framför och bakom stenarna. Frekvensfördelningen visar att hastigheterna i omlöpet sträcker sig från 0.4 till 1.2 m/s där den vanligaste hastigheten är 0.7 till 0.8 m/s. Det finns även partier där hastigheten är upp mot 1.8 m/s. Hastighetensfördelningen för hastigheter över 0.3 m/s har en förskjuten normalfördelad kurva.



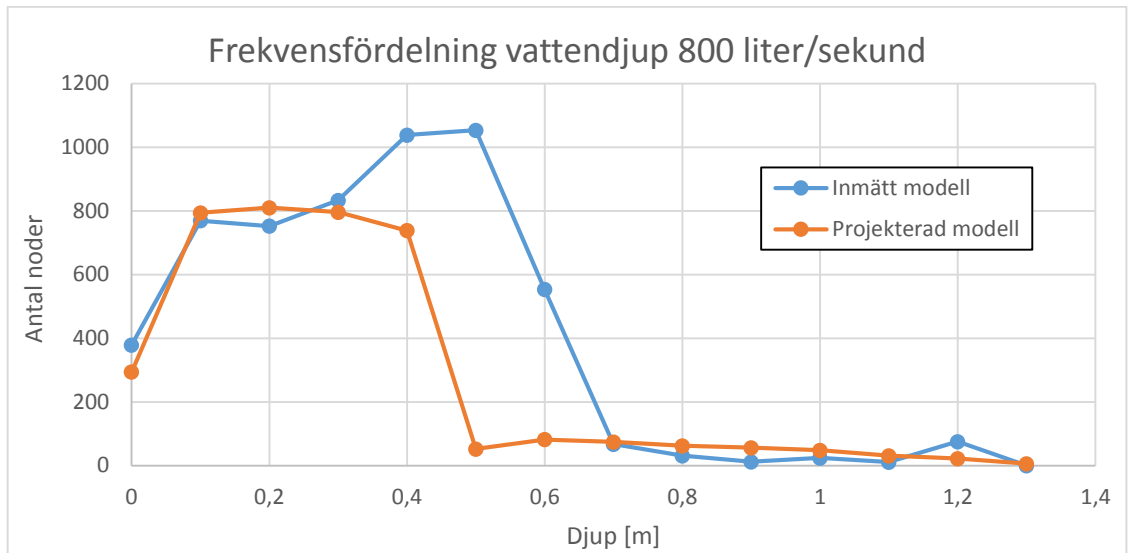
Figur 29. Frekvensfördelning av vattendjup och vattenhastighet för det inmätta omlöpet. Vattendjupet 800 liter/sekund.

### 5.3 Jämförelse mellan projekterade och simulerade resultat

Det är stor skillnad mellan den projekterade och simulerade frekvensfördelningen. För den projekterade fördelningen vid ett flöde på 250 liter/sekund så är djupet väldigt koncentrerat runt en smal spets med vanligaste värde 20 centimeter. Den simulerade fördelningen har samma spetsiga djupfördelning men det vanligaste värdet är 30 centimeter, kurvan har alltså förskjutits 10 centimeter åt höger för den simulerade fördelningen. För flödet 800 liter/sekund är den projekterade djupfördelningen mer utformad som en plåtå där djupet 10 -40 centimeter är lika vanligt förekommande. Den simulerade djupfördelningen är mer utformad som en trappa där de vanligaste hastigheterna är 40 – 50 centimeter, det finns även många noder som har ett djup på 60 centimeter. Något som inte alls syns för den projekterade omlöpet.

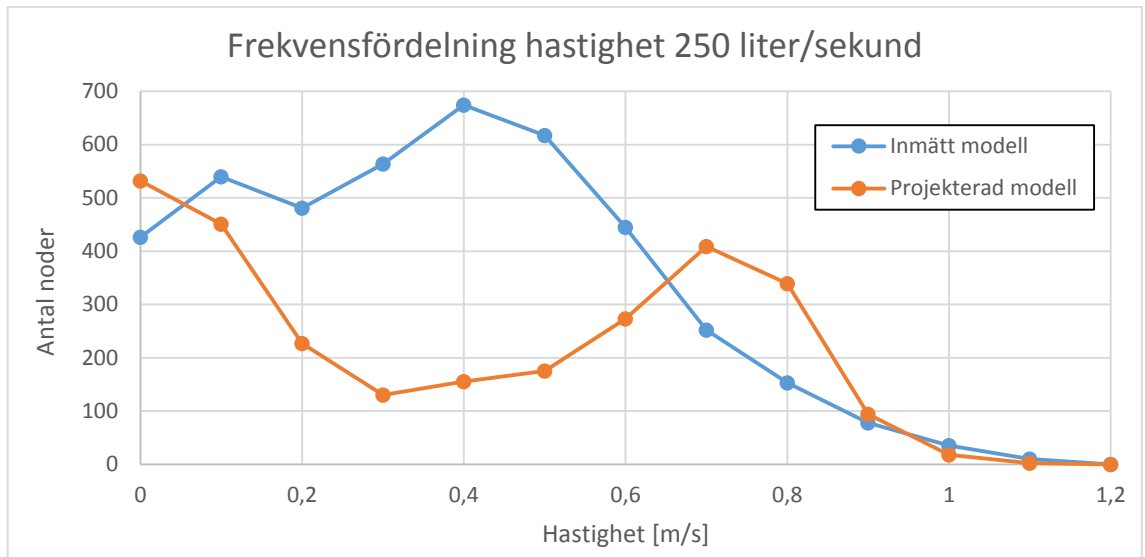


Figur 30. Jämförelse av djupfördelningarna för de två hydrauliska modellerna vid flödet 250 liter/sekund.

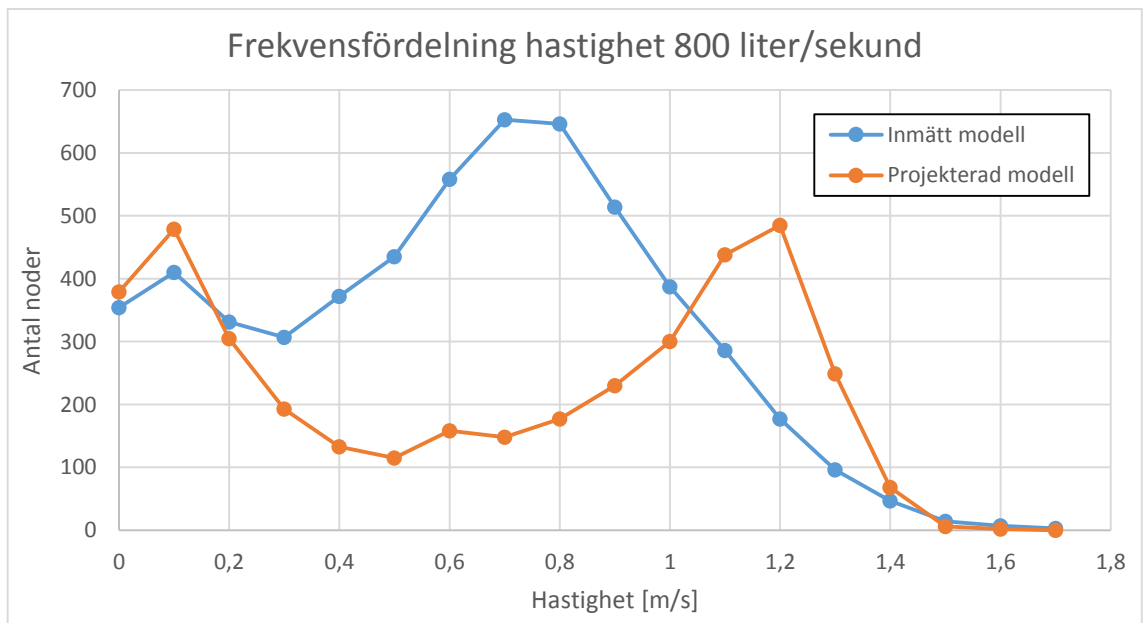


Figur 31. Jämförelse av djupfördelningarna för de två hydrauliska modellerna vid flödet 800 liter/sekund.

Det är även stora skillnader för hastighetsfördelningen mellan de projekterade och simulerade resultaten. De projekterade hastighetsfördelningarna har samma utformning med två pucklar för de båda flödena. Den första puckeln är för hastigheterna 0-0.3 och är ganska lika för de båda flödena, de här hastigheterna är för alla noder längs med omlöpets kanter och uppe i böljan. Sedan finns en till puckel med de vanligaste hastigheterna för det strömmande vattnet i mitten av omlöpet. För flödet 250 liter/sekund ligger dessa hastigheter mellan 0.5-0.85 m/s och för flödet 800 liter/sekund ligger hastigheterna mellan 0.9-1.3 m/s. Hastighetsfördelningen för de båda simulerade flödena har också en liknande utformning, men den här fördelningen har en normalfördelad kurva tillsammans med en puckel för de låga hastigheterna mellan 0-0.2 m/s i omlöpets kanter och uppe i böljan. För det simulerade flödet 250 liter/sekund är den vanligaste hastigheten 0.4 m/s och för det simulerade flödet 800 liter/sekund är den vanligaste hastigheten 0.7 och 0.8 m/s. För de båda flödena så är hastigheterna för det simulerade omlöpet lägre än för det projekterade omlöpet.



Figur 32. Jämförelse av hastighetsfördelningarna för de två hydrauliska modellerna vid flödet 250 liter/sekund.



Figur 33. Jämförelse av hastighetsfördelningarna för de två hydrauliska modellerna vid flödet 800 liter/sekund.





## 6 Diskussion

I det här kapitlet kommer de fynd och resultat som har gjorts i studien att diskuteras och jämföras mot rekommendationer och resultat från tidigare studier. Diskussionen är indelad i två underkapitel som behandlar omlöpskanalen och smoltrännen.

### 6.1 Omlöpskanalen

ICPDR (2013) skriver att rekommenderat minsta fria vattendjup är 2.5 gånger fiskens höjd, för lax innebär det här ett fritt vattendjup på cirka 30 centimeter. ICPDR (2013) skriver också att högsta rekommenderade hastighet är 1.1 m/s om vilobassänger saknas och 1.9 m/s om vilobassänger finns. För att se ifall omlöpet uppfyller dessa båda krav vid högt och lågt flöde, användes som nämnt tidigare en hydraulisk modell. Resultaten för det projekterade omlöpet visar att för flödet 250 liter/sekund är det endast i den djupaste centerlinjen som minsta fria vattendjup uppfylls. Det vanligaste djupet är 20 centimeter vilket är för grunt för laxfiskar. Hastigheten för samma flöde ligger mellan 0.5-0.9 m/s där den högsta hastigheten är i centerlinjen, vilket är inom de rekommendationerna. För flödet 800 liter/sekund är det som djupast 40 centimeter och en stor del av omlöpet har ett djup på 30 centimeter eller mer. Hastigheten för detta flöde varierar mellan 0.5-1.4 m/s där 1.2 m/s är det vanligaste flödet. Flödet 800 liter/sekund uppfyller villkoret om minsta fria vattendjup men uppvisar en för hög hastighet. De största hastigheterna återfinns i centerlinjen där det är djupast och troligast att fisken väljer att vandra.

Sammanfattningsvis kan man säga att det projekterade underlaget från konsulten inte uppfyller de rekommendationer som finns för fritt vattendjup och hastighet för varken högt eller lågt flöde. Anledningen är att konsulten inte har ritat in varken ståndstenar eller vilobassänger, om dessa hade funnit med i relationsritningarna hade båda rekommendationerna med största sannolikhet uppfyllts. Det står i handlingarna att "Toppdressing natursten: dim 600 – 1000 mm, sprids slumpartat inom vattenvägen". Att slumpartat sprida ut ståndstenar kan uppfattas som ett knep, från konsultens sida, att försöka lägga över designansvaret på entreprenören. Resultatet från det projekterade underlaget med inritade stenar och vilobassänger visar hur stor skillnad det gör för omlöpet om stenarna placeras på rätt ställe i omlöpskanalen, därför så borde konsulten ha tagit sitt ansvar och även ritat in stenarnas placering i omlöpet så att bästa möjliga funktion hade erhållits.

Kalibreringen av den inmätta modellen visade att modellen visar 5-10 centimeter för lågt vattendjup för de flesta sektioner, så det är bra att ha med det i bakhuvudet när de simulerade resultaten studeras. Resultatet för det inmätta omlöpet visar för flödet 250 liter/sekund att den större delen av omlöpet har ett vattendjup på 30 centimeter, det förekommer även djupare och grundare partier. Vattenhastigheterna varierar och ligger mellan 0.2-0.7 m/s, där den vanligaste hastigheten är 0.4 m/s. För flödet 800 liter/sekund

är vattendjupet mellan 30-60 centimeter och det vanligaste djupet är 40-50 centimeter. Vattenhastigheten varierar från 0.4 till 1.2 m/s. Den vanligaste hastigheten är runt 0.8 m/s. Det förekommer sektioner där hastigheten är upp mot 1.8 m/s. Sammanfattningsvis kan man säga att de båda simulerade flödena uppfyller rekommendationerna för minsta fria vattendjup och högsta vattenhastighet. För det högre flödet finns det sektioner med högre hastigheter än rekommenderat men eftersom det är gott om ståndstenar och lugnare partier så antas de svagare simmarna klara av dessa partier, då det handlar om korta sprinter förbi en ståndsten eller liknande. För att vara säker på att det inte blir några problem måste harren, som är den svagaste simmaren av de tre fokusarterna, övervakas för att se att den klarar av att simma genom omlöpet. Så trots att det projekterade underlaget inte uppfyller rekommendationerna för fritt vattendjup och högsta vattenhastighet verkar ändå det konstruerade omlöpet ha en bra funktioner avseende djup och hastighet.

För omlöp med låga vattenhastigheter och gott om ståndplatser, som Anundsjös omlöp, rekommenderas enligt Degerman (2008) att vilobassänger ska anläggas var 75:e-100:e meter. För Anundsjös omlöp fanns inga vilobassänger inritade i relationsritningar, konsulten har helt missat det här kriteriet för ett väl fungerande omlöp. De inmätta punkterna av omlöpet tyder inte heller på att någon vilobassäng finns och inte heller vid platsbesöket kunde några vilobassänger identifieras. Det rekommenderas att gräva ut några vilobassänger för att säkerställa god funktion hos omlöpet, samtidigt bör man vara försiktig så att inte vilobassängerna sätts igen av alla de sediment som finns i omlöpet idag. Konstruktionen av vilobassängerna kommer också att bidra till en tillfälligt ökad sedimentkoncentration som bör beaktas genom att låta utgrävningen ske utanför vandrings säsongen för att minimera störningen för uppvandrande fisk.

Den högsta rekommenderade bottenlutningen enligt litteraturen är 1.5 %. Lutningen kan vara upp mot 5 % om det finns gott om viloplatser. Laxfiskar som är starka simmare klarar lutningar på upp till 9 % om de får chans till återhämtning mellan de branta partierna. Lutningen för det inmätta omlöpet är 2 % om man mäter från den översta till den nedersta punkten, vilket stämmer bra överens med det projekterade underlaget där lutningen också var angiven till 2%. Som simuleringsresultaten visar är inte bottenlutningen konstant utan varierar längs med hela omlöpet vilket gör att det finns partier med en lutning som är lägre än 2 % och även högre än 2 %. Att lutningen varierar är positivt då det skapar vissa plattare partier där fisken kan få tillfälle att återhämta sig. Studerar man djup och hastighetsbilderna från den inmätta modellen ser man att en del flackare partier är väl strömsatta vilket gör att fisken inte får möjlighet att återhämta sig här heller. Det finns egentligen ett parti som man tydligt ser är flackare och djupare med låga vattenhastigheter och det är i den nedre delen av omlöpet efter den första svängen. För den övriga delen finns det väldigt få flacka lugna partier och de som finns är dessutom för små för att större

fiskar ska kunna stanna till och återhämta sig. Sammanfattningsvis bedöms lutningen på omlöpet inte utgöra något hinder för öringen och laxen som är starka simmarna. Däremot kan det bli problem för harren, som är en svagare simmare, att ta sig förbi de brantare partierna med tanke på avsaknaden av vilobassänger.

Under platsbesöket uppmärksammades en åtgärd som hade gjorts i samband med byggnationen av omlöpet som kan orsaka stora framtida problem, nämligen den totala avsaknaden av vegetation. All vegetation som stod inom 30 meter från omlöpet hade avverkats och kvar återstod endast lera som man hade format omlöpet ur. Den direkta effekten av det här blir en påtaglig erosion av kanterna och stora mängder sediment som rinner ner i omlöpet, vilket också sågs vid platsbesöket. Man såg även hur en del partier hade rasat ner och på vissa partier hade ena stranden börjat tryckas in mot omlöpet. Risken med sediment i omlöpet är att de ansamlas i vilobassänger och lugnare partier och sätter igen omlöpet vilket leder till en betydligt sämre funktion. Sedimenten kommer högst sannolikt också att deponeras nedanför omlöpet i den restaurerade spillfåran och kan på så sätt helt enkelt blockera vägen upp till omlöpet under perioder då dammen inte har spillt vatten på länge. Det är anmärkningsvärt att beställaren har låtit det här ske genom att låta entreprenören fritt skövla skog och fylla på med erosionskänsligt material på eget bevåg. Framförallt då beställaren är en välkänd aktör inom sin bransch som även har många vattenkraftverk i andra länder där sedimentation är ett stort problem, dessutom har beställaren ett nära samarbete med Norges tekniska och naturvetenskapliga universitet (NTNU) i Trondheim så sedimentationsproblemet borde inte vara en nyhet. Exakt hur det här misstaget har tillåtits att begås är i dagsläget inte känt för författaren, men en trolig teori är helt enkelt att beställarens projektledare har styrt projektet för dåligt och haft en bristande kommunikation med entreprenören om omlöpets känslighet mot sediment. Sediment finns mer eller mindre i alla vattendrag och för att inte sedimenten ska skapa problem i omlöpet måste möjligheten finnas att spola ut sedimentavlagringar som har lagt sig i omlöpet. De sediment som eventuellt lägger sig nedanför omlöpet, i den renoverade spillfåran, spolas enkelt bort när dammen spillas och för att spola rent i själva omlöpet så görs det enklast genom att installera någon typ av reglerbart utskov i den översta delen av omlöpet, exempel en lucka som kan manövreras för att tillåta höga flöden. Konsulten verkar ha haft sedimenteringsproblemet i åtanke eftersom man har sett till att en reglerbar lucka har installerats i den översta delen av omlöpet vid Anundsjö. Luckan kan öppnas 110 centimeter enligt figur 58 vilket borde generera ett tillräckligt högt flöde för att spola rent omlöpet när nivån i reservoaren är hög.



Figur 34. Reglerkurvorna som styr luckans öppning beroende på reservoarens nivå och önskat flöde.

Det andra problemet med att avverka skog runt omlöpet är att allt skydd för fisken försvinner. För att fisken ska våga vandra i omlöpet måste lugnare partier och vilobassänger täckas av vegetation för att skydda mot landlevande predatorer. Vegetation runt omlöpet bidrar även till att död ved ramlar ner i vattnet vilket bidrar till att göra omlöpet ännu mer lik ett naturligt vattendrag samtidigt som det ger extra skydd och strömlä åt fisken. Innan nya träd hinner växa upp måste en lösning fram för att skapa skydd över de lugna partierna i omlöpet.

Ett viktigt kriterie för att få ett väl fungerande omlöp är att omlöpets mynningar är bra utformade, då speciellt den nedre mynningen som ska vara belägen så nära vandringshindret som möjligt och riktad ut mot platsen där fisken ansamlas nedanför hindret. Vid platsbesöket fanns det inte möjlighet att inspektera den nedre mynningen eftersom dammen spillde vatten och den nedre mynningen var under vatten men från ritningarna ser man att den nedre mynningen ansluter vinkelrätt till den restaurerade torrfåran cirka 15 meter nedanför dammen. Vid de tillfällen då dammen inte spiller anses fisken inte ha några problem att hitta omlöpet eftersom det är en fortsättning på den restaurerade torrfåran. Det finns ingen annan möjlighet för fisken att simma någon

annanstans än upp i omlöpet. För tillfällen då dammen spiller kommer fisken att följa spillflödet och ansamlas nedanför dammen där den börjar söka efter närliggande alternativ. Fisken kommer troligen då inte hitta ingången till omlöpet lika enkelt och om man hade haft möjlighet att flytta på ingången till omlöpet i efterhand hade det bästa varit ifall den nedre mynningen hade placerats precis nedanför dammen. Den här lilla designmissen tros inte innebära några större problem då dammen inte spiller så många dagar på ett år. Den övre mynningen är däremot bättre designad och följer de rekommendationer som har identifierats från tidigare studier, nämligen att omlöpet ska mynna ut ovanför vattenhindret i strandnära lugna vatten utan risk för att sugas in i turbinen. De första åren kan det vara bra att övervaka förekomsten av rovfisk vid den övre mynningen som kan utgöra ett hot för de trötta fiskarna som har vandrat genom hela omlöpet.

Det viktigaste kriteriet för att ett omlöp ska fungera väl under en längre tid är att det görs underhåll av omlöpet med jämna intervaller. Idag så finns det redan en framtagen övervaknings-/underhållsplan för omlöpet som täcker in de flesta delar i omlöpet som regelbundet behöver ses över. Det står inte skrivet i underhållsplanen att sedimentavlagringar ska spolats ut ur omlöpet, däremot finns det ett villkor som säger att mellan 15/7 – 5/10 ska kraftverket stänga 1 timma varje tisdag och torsdag och låta all tillrinning under den här tiden gå till omlöpet. Dessutom finns ett annat villkor som säger att allt överskottsvatten ska släppas via omlöpet upp dess maximala kapacitet innan det får lov att spilla över dammen. De här två villkoren anses vara tillräckligt för att sedimentavlagringar i omlöpet ska spolas ur. Det står inte specificerat att länsarna ska rensas från skräp och att bottenstrukturer ska fyllas på men jämna intervaller, däremot så står det att omlöpet ska skötas om så att fiskvägen bibehåller sin funktion. Det är ett väldigt öppet villkor och hade behövt delas upp i vilka konkreta åtgärder som behöver göras med vilka intervaller, för att omlöpet ska bibehålla sin funktion. Tydliga åtgärder är enklare att planera in och se till att de blir gjorda än ett generellt underhåll som lätt skjuts på.

## 6.2 Smoltlösning

Det finns mycket litteratur och många olika lösningar på hur en smoltlösning kan designas. Gemensamt med de flesta rapporter och studier är slutsatsen om att fingaller är den bästa lösningen för att leda bort fisken från turbinintaget och in mot smoltintaget. Därför är det anmärkningsvärt att man för smoltlösningen vid Anundsjö kraftverk har valt bort fingallret på grund av kostnadsskäl och istället ersatt den med en 1.5 meter djup finmaskig läns. Det främsta argumentet för valet av läns, bortsett från kostnaden, var att eftersom smolten vandrar ytligt så ska länsens djup och utformning vara tillräckligt för att säkerställa en god funktion. Nackdelen med en läns är att den kan förflytta sig med strömmen i reservoaren

om den inte är ordentligt förankrad längs hela sträckan, och av att döma från platsbesöket så är länsen endast fäst i ytterpunkterna vilket medför att den kan förflytta sig mycket beroende på strömmarna i reservoaren. Om länsen sugts in mot turbinintaget, vilket anses som troligt, och lägger sig vinkelrät mot vattenströmmen är risken hög att en stor andel smolt och även utlekt fisk sugts fast mot länsen och skadas eller dör. Dessutom så riskerar den vägledande funktionen hos länsen att försämrats kraftigt om den förflyttas från sin grundplacering. Sammanfattningsvis bedöms användningen av en läns framför fingaller för att avleda smolt från turbinintaget som en dålig lösning med begränsad funktion, främst då det största argumentet för valet av läns var kostnadsbesparingar. Författaren till den här rapporten har inte hittat några tidigare studier som rekommenderar användning av läns framför fingaller. Det ska även nämnas att det överlag verkar vara få studier som har studerat effekten av en läns framför fingaller överhuvudtaget.

Intaget till smoltrännen är placerad bredvid turbinintaget, vilket är enligt rekommendation från flera studier på området, däribland DWA (2005), som visar att smolten endast söker av närliggande alternativa nedvandringvägar. Smoltintaget är ytligt beläget vilket rekommenderas från flertalet studier eftersom man har sett att den mesta smolten vandrar just ytligt. För att förbättra chanserna för smolten att hitta intaget kan man installera ett fingaller nedanför smoltintaget som leder smolten upp till ytan och intaget. Det här är en rekommenderad åtgärd enligt DWA (2005) och det kan vara en lösning att ta till ifall det visar sig att smolten har svårt att finna intaget. DWA (2005) skriver också att för att erhålla en bra effektivitet hos fiskpassagen är det av stor vikt att turbulens undviks och att hastigheten i fiskpassagen stadigt ökar tills dess att den har passerat smoltens simförmåga så att de flyter med, vilket enklast uppnås genom ett trattformat intag. Även här så har projektören gjort ett bra jobb och utformat intaget trattformat. Sammanfattningsvis kan man säga att själva intaget till smoltrännen är utformat enligt de rekommendationer som finns från den litteratur som har studerats så funktionen borde vara god så länge smolten finner intaget och vattenflödet genom smoltrännen är tillräckligt stort.

När smolten har kommit genom intaget simmar den genom en smal ränna som övervakas av en kamera. Kameraövervakning anses som ett bra och kostnadseffektivt verktyg som gör att man kan se hur mycket fisk som simmar igenom smoltrännen samtidigt som ansamlingen av skräp i rännan övervakas. Det gör att personal endast behöver åka ut och underhålla smoltrännen när det behövs. Underhåll är som nämnt tidigare mycket viktigt för att upprätthålla en god funktion hos alla typer av vandringvägar. Den sista biten åker smolten i ett rör innan den släpps ut i den gamla vattenfåran nedströms dammen. Röret slutar en bit ovanför vattenytan så att smolten får falla fritt ner i vattnet, det här är den rekommenderade lösningen från flertalet studier, bland andra Odeh & Orvis (1998) och Travade & Larinier (1992), då det har visat sig att smolten utsätts för större tvärkrafter om

röret slutar under vattenytan istället för över vattenytan. Lösningen anses vara bra och inga fel har kunnat identifieras. Så länge som bassängen under utloppet från röret hålls fri från sten och skräp som kan skada smolten bör smolten vara vid god vigör efter att ha vandrat genom smoltrännen innan den simmar vidare ut mot Östersjön. Det rekommenderas att bassängen nedanför smoltutloppet också övervakas under en längre tid för att försäkra sig om att inte gädda eller andra rovfiskar ansamlas där, om så skulle vara fallet måste åtgärder tas till för att få bort dessa rovdjur.

Under litteraturstudien så hittades ett flertal rapporter som visar att ljus attraherar salomonider. Sedan hittades också en rapport skriven av Ferguson et. al (2005) som fann att nedströmsvandrande smolt som ankom en dam under dagtid snabbt passerade dammen genom ytliga utlopp men väntade till att det blev mörkt innan de passerade genom turbinen. Med bakgrund av dessa rapporter så kan en metod, för att ytterligare öka anlockningen av smolt till smoltintaget vid Anundsjö kraftverk, vara att belysa smoltintaget nattetid. Lösningen kräver lite underhåll och kan öka anlockningen av smolt. Det anses som en billig lösning som antas ge god effekt. En annan diskussion som är intressant är ifall smoltlösningen var en bra idé att bygga överhuvudtaget. Hade det varit möjligt att leda smolten genom omlöpet som de lekande fiskarna vandrar upp genom eller att stänga dammluckorna och låta vattnet spilla över dammen via ett utskov istället? En del studier, bland andra Degerman E. (2008) och Calles O. & Greenberg L.A. (2005), pekar på att det är möjligt att använda samma omlöp för upp och nedvandring men då behövs oftast en del modifikationer göras till omlöpet, främst beroende på att flödet i omlöpet för nedströmsvandring måste vara större än för uppströmsvandring, samtidigt som förhållandena i omlöpet ska vara anpassade för både upp och nedströmsvandrande fisk vilket kan bli svårt att uppnå. Det som har rekommenderats i en del studier är helt enkelt att bygga två separata omlöp, ett för uppströmsvandring och ett för nedströmsvandring vilket snabbt blir kostsamt och tar stor plats. Den största utmaningen med att använda omlöpet vid Anundsjö kraftverk som nedvandringsväg för smolt antas vara att leda smolten till omlöpet, då det är placerat i en lugn del av reservoaren långt ifrån turbinintaget. Och eftersom smolten simmar med den starkaste strömmen kommer den att hamna vid turbinintaget om inte fingrindor sätts upp längs en lång sträcka för att leda smolten rätt eller att den övre delen av reservoaren modifieras så att huvudströmmen går närmare omlöpet. Risken med att modifiera huvudströmmen i reservoaren, bortsett från att det är kostsamt, är att förhållandena vid omlöpets övre mynning försämras för uppströmsvandrande fisk som helst ska ha ett lugnt vatten att simma ut i då de är medtagna efter passagen genom omlöpet. Om man skulle sätta upp fingrindor över hela reservoaren för att tvinga smolt in mot omlöpet så medför det mycket arbete med att underhålla och rensa fingrindorna. Att låta smolten använda omlöpet för nedströmsvandring anses inte vara lämpligt för Anundsjö kraftverk då ingreppen verkar bli

kompliserte og kostsamma samtidigt som resultatet er osikkert. Dock så kan det sikkert fungera på andra platser och vid nya projekt där man från börjar planerar upp- och nervandring genom samma omlöp.

Det andra alternativet hade varit att istället för att bygga smoltrännen låta bygga ett utskov som spiller över dammen och låta smolten simma den vägen. BioSonics Inc. (1999) skrev i deras rapport att en stor andel smolt passerade över en dam genom ett utskov under hela dygnet för ett utskov som spillde hela dygnet. Samtidigt så visar flera studier, Whitney et al. (1997); Muir et al. (2001); Giorgi (2002); Whitney et al. (1997), att dödligheten för smolt som vandrar genom ett utskov är väldigt låg, främst eftersom de snabbt kan simma förbi dammen och på så sätt bli minimalt exponerade för de risker som finns med att stanna länge i en reservoar, som predation och sjukdomar. Att bygga ett utskov över dammen innebär också en kostnad men den antas vara lägre än kostnaden för smoltlösningen då den inte är lika kompliserad. Samtidigt så kräver den inget extra underhåll för att smolten ska kunna vandra över dammen utan endast samma underhåll som krävs för att den ska kunna spilla vatten på ett fungerande sätt. En nackdel med att bygga ett spillutskov är att det går åt mycket vatten. Som BioSonics Inc. (1999) skrev i sin rapport fungerade utskovet bra som vandringsväg för smolt vid kontinuerligt spill över dammen men effekten var mycket sämre ifall man endast spillde vatten vissa tider på dygnet. Där har den byggda smoltlösningen en fördel eftersom den är utformad på ett sätt så att den kräver ett relativt litet flöde för att fungera. En annan nackdel med ett spillutskov är att möjligheten till registrering av nedströmsvandrande smolt förbi dammen försvinner. Det kan vara möjligt att registrera smolt nedströms men det ger förmodligen inte lika bra resultat som att registrera smolt i den befintliga smoltrännen.

Det är svårt att bestämma vilken av dessa tre nedströms vandringslösningar för smolt som bäst passar Anundsjö kraftverk. Den befintliga smoltlösningen kräver lite vatten för att fungera samtidigt som det är lätt att registrera fisk genom kameraövervakning och ett uppsamlingskärl för smolt. Ett utskov hade förmodligen varit billigare att bygga men kräver mer vatten för att fungera bra samtidigt som möjligheten till registrering av nedvandrande smolt blir sämre. Så först måste man bestämma vilka prioriteringar som finns, men med bakgrund av att fingallret valdes bort framför turbinintaget visar det ganska tydligt att en låg kostnad var viktigare än en bra funktion. Och med de prioriteringarna så hade det förmodligen varit bättre att bygga ett spillutskov över dammen.



## 7 Slutsats

Omlöpets funktion bedöms som tillräckligt bra för att lax, öring och harr ska klara av att vandra upp genom det baserat på de villkor som identifierades i litteraturstudien. Det finns åtgärder som kan göras för att ytterligare förbättra omlöpets funktion som att gräva ut vilobassänger och återplantera vegetation runt omlöpet som idag är helt kalhugget. För att säkerställa omlöpets långsiktiga funktion är det viktigt att följa det kontrollprogram som är framtaget för omlöpet. För att avgöra ifall omlöpet har en bra funktion eller inte måste man övervaka hur stor andel av de fiskar som simmar in i omlöpet som klarar av att vandra hela vägen förbi dammen och hur väl det här resultatet stämmer överens med den målbild som finns.

Den befintliga smoltlösningen anses ha en god funktion och utformningen av smoltlösningen är i de flesta fall enligt de rekommendationer som finns från tidigare studier. Det enda felet som har identifierats är avsaknaden av ett fingaller framför turbinintaget. Rekommendationen här är att utvärdera ifall länsen fungerar tillfredsställande eller inte som smoltvaledare och därefter ta beslut om ett fingaller behöver installeras eller inte.

### 7.1 Förbättringsåtgärder för Anundsjö

Återplantering av vegetation. Erosion av omlöpets kanter är den faktor som bedöms ha störst risk att äventyra omlöpets långvariga funktion. Om erosionen får fortgå kommer stora mängder sediment att ansamlas i omlöpet och en del kanter kommer att eroderas så mycket att de rasar ner i omlöpet, tendenser finns redan idag till kantras. Därför är det mycket viktigt att, som första åtgärd, så snabbt som möjligt säkra upp kanterna. Förslagsvis görs detta genom att plantera ut snabbväxande gräs eller lägga ut färdig gräsmatta längs med kanterna närmast omlöpet. De övriga ytorna måste också sås med snabbväxande gräs eller växter som binder upp jorden. För att skydda fiskarna skydd under sin vandring genom omlöpet föreslås det att plantera träd och buskar längs hela omlöpet för att försöka återskapa så naturliga förhållanden som möjligt. Död ved och biomassa kommer då att ramla ner i omlöpet vilket kommer att dra till sig även mindre organismer och djur. Över de lugnare partierna och viloplatser föreslås plantera träd och buskar som breder ut sig och hänger ut över omlöpet för att ge fiskarna maximalt skydd från landlevande predatorer. Innan träden och buskarna har vuxit sig tillräckligt stora för att ge skydd behövs provisoriska skydd sättas upp över omlöpet. Ett förslag som lades fram vid platsbesöket var att spänna upp militärnät, vilket ses som en bra lösning som också är billig. Hela den avverkade ytan runt omlöpet ska också återställas genom att plantera träd.

Utgrävning av vilobassänger. Tre vilobassänger föreslås byggas med 75-100 meter mellanrum på grund av de rekommendationer som hittades i litteraturen. Vilobassängerna

tros særskilt hjelpe svagare individer som inte orkar simma hela vägen utan paus. Bassängerna ska vara minst 3x3 meter och inte vara djupare än den befintliga botten. För att höja vattennivån i vilobassängerna föreslås placera en ståndsten i bassängens nederkant enligt de resultat som togs fram i den här studien. Om vilobassängen är för djup kan det leda till ansamling av rovfiskar.

Kalibrering av luckan. Den reglerbara luckan är felinställd och släpper för mycket vatten enligt de flödesmätningar som gjordes utav Ola Hammarberg. Felet är antingen att flödeskurvorna som luckan följer är felritade eller att luckans verkliga öppning inte stämmer överens med det som visas på manöverpanelen. Felet måste lokaliseras och åtgärdas.

Renovering av slitsrännan. Slitsrännan är felritad och felbyggd och det måste åtgärdas. Som det ser ut idag är höjdskillnaden från poolen in i slitsrännan för hög. Den rekommenderade lösningen är att bygga om slitsrännan eftersom den är felaktigt projekterad och konsulten bär ansvaret för misstaget. Tvisten får lösas mellan beställaren och konsulten.

Installation av fingaller framför turbinintag. Det här är en åtgärd som kan behöva göras ifall den befintliga lösningen med en läns framför turbinintaget inte fungerar. Först så måste befintlig lösning utvärderas innan beslut om installation tas.

Installation av vägledande ljus i smoltrännan. Det här är också en åtgärd som kan göras ifall inte tillräckligt stor andel smolt simmar genom smoltrännan. Det som rekommenderas då är att belysa smoltrännan nattetid för att vägleda smolten till intaget.

Förbättringsåtgärderna finns också sammanställda i appendix 4.

## 7.2 Checklista för design av framtida omlöp

För att säkerställa kvaliteten hos framtida omlöp har en lista tagits fram med olika villkor och frågeställningar som är tänkt att fungera som en vägledning och checklista under projektets gång. Listan är indelad efter projektets olika faser. Villkoren för omlöpets design är de samma som togs fram i samband med litteraturstudien och avser alla olika arter av fisk.

### Frågor som ska svaras på i förstudien:

Är det ekonomiskt försvarbart att bygga fiskvägen eller är det billigare att riva damen?

Hur lång är kraftverkets återbetalningstid för den föreslagna åtgärden? Är det rimligt?

Finns det vandringshinder för fisken nedströms det berörda kraftverket? Om ja, erhålls en större nytta av att investera samma summa för att åtgärda nedströms vandringshinder?

Hur ser förhållandena ut för fisken uppströms kraftverket? Finns det lekplatser för fisken idag?

Hur ser närliggande vattendrag ut? Erhålls en större nytta av att investera i åtgärder där istället?

Vilken strategi för vattenkraft och fiskvandring finns för det berörda geografiska området? Erhålls en högre nytta av att låta vissa vattendrag vara hårt reglerade, låta andra vattendrag vara oreglerade och investera pengar för att förbättra fiskarnas lekområden i de oreglerade vattendragen?

Vilken typ av vandringslösning ska byggas? Vad är syftet med vandringslösningen? Är det endast en transportsträcka för kommersiellt viktiga arter eller ska den fungera som en förlängning av vattendraget med lekplatser för fisk? Det rekommenderas att alltid bygga ett omlöp med olika uppväxthabitat för fisk.

Vilka kriterier finns för att vandringslösningen ska anses som bra? Hur stor andel av fiskarna ska passera genom vandringslösningen?

Hur ser projektgruppens sammansättning ut? Finns den kompetens som behövs? Säkerställ att det finns personer med kunskap om fiskvandring och utformning av fiskpassager i projektet.

Hur ofta ska avstämning med konsult och entreprenör ske? Se till att fiskeexperten är närvarande vid avstämningarna för att granska och godkänna framtaget material.

#### Under projektering – villkor som ska uppfyllas:

Under projekteringen ska villkoren listade nedanför följas. Villkoren avser design av ett omlöp.

Bottenlutning	Högsta rekommenderade lutning är 1.5 %.Lutningen kan vara upp mot 5 % om det finns gott om viloplatser
Vilobassänger	Ska anläggas var 75-100:e meter. Ska utformas som grunda och breda habitat. Minsta dimension (längd x bredd) är 3 x 2 gånger fiskens längd.
Habitat	Längre omlöp ska utformas som ett naturligt strömningsparti med uppväxthabitat för fisk.
Reglering av flöde	Ett reglerbart utskov ska helst installeras i den övre delen av omlöpet. Annars ska inloppet ha en skarp V-skuren profil.

Nedre mynning	Placeras där fisken samlas nedströms hindret. Mynningen ska vara riktad ut mot ansamlingspunkten och ligga under normalt lågvattenstånd (MLQ).
Övre mynning	Den övre mynningen ska leda ut i en strandnära ström tillräckligt långt ifrån turbinintaget. Mynningsdjupet bör vara det samma som i fiskvägen. Mynningen ska skyddas från flytande skräp.
Lockvatten	Hastigheten ska vara 0.7-1.5 m/s. Flödet ska kanaliseras. Lockvattnet ska utgöra 6-23 % av medelflödet i vattendraget.
Flöde	Ju större flödet är desto bättre fungerar fiskpassagen. Minsta flöde som krävs är beroende av fiskens storlek och art. En lax på en meter behöver minst 500-550 liter/sekund.
Hastighet	Högsta hastighet är 1,9 m/s om vilobassänger finns. Högsta hastighet är 1,1 m/s om vilobassänger saknas.
Djup	Minsta fria vattendjup ska vara 2,5 gånger fiskens kroppshöjd.
Substrat	Substratet ska bestå av större stenar, klappersten och grus. Stora stenar ska sticka upp 1 decimeter över ytan. Substratet i fiskvägen ska vara sammanbundet med substratet i den naturliga vattenfåran.
Skyddande vegetation	Vilobassänger och lugnare partier ska ha skyddande vegetation skyddande vegetation från exempelvis träd och buskar.
Ståndstenar	Ståndstenar ska finnas i omlöpet för att ge strömlä åt fisken. Ståndstenarnas placering ska vara inritade i relationshandlingarna.
Simulering av resultat	Det projekterade omlöpet ska simuleras i en hydraulisk modell för att bedöma och godkänna omlöpets funktion innan byggfasen påbörjas.

#### Under byggfas:

Under byggnationen av omlöpet ska entreprenören göra sitt yttersta för att minimera avverkad vegetation och framtida erosion.

#### Vid projektets slut:

När omlöpet är byggt så är det viktigt att framtaget kontrollprogram följs för att upprätthålla omlöpets funktionen.

En uppsummering av projektet ska göras där problem som uppkom under projekts gång ska sammanställas tillsammans med förslag på hur samma problem ska undvikas i framtida projekt.

### 7.3 Kontrollprogram för omlöp

Flödesövervakning	Vattenflödet i omlöpet ska övervakas kontinuerligt för att säkerställa att beslutad vattenföring efterlevs. Vattenflödet ska mätas i övre och undre delen av omlöpet för att kunna identifiera läckage i omlöpet.
Djupövervakning	Förändringar av vattendjupet ska övervakas kontinuerligt på 4 punkter i omlöpet. Förändringarna är en indikation på att något har skett med omlöpets geometri eller att det finns hinder i omlöpet som blockerar flödet.
Räkning av fisk	Fiskarna som samlas nedanför dammen räknas genom elfiske under vandringsperioden. Fiskarna som simmar in och genom omlöpet registreras genom att installera en fiskräknare i början och i slutet på omlöpet. Andelen fiskar som simmar igenom omlöpet är det som bestämmer effektiviteten av omlöpet.
Rovfiskar	Kontrollera ansamling av rovfiskar i omlöpets lugnare partier, vilobassänger, nedre mynning och övre mynning. Kontrollerna ska ske löpande under fiskarnas vandringsperiod. Om rovfiskar identifieras ska åtgärder tas.
Tjuvfiskare	Omlöpet ska övervakas med kameror för att identifiera personer som fiskar i omlöpet. Om tjuvfiskare upptäcks ska åtgärder tas.
Spolning av omlöp	Sedimentavlagringar ska spolat ut ur omlöpet årligen eller oftare vid behov.
Bottensubstrat	Efter spolning av omlöpet ska bottensubstratet fyllas på.
Rensning av länsar	Länsarna uppströms omlöpet ska rensas på skräp vid behov.
Inspektion	Årlig inspektion av ståndstenarnas placering, hinder i omlöpet och erosion av kanterna.

### 7.4 Vidare arbete

Tunneln där turbinvattnet rinner ut behöver studeras för att se hur mycket fisk som simmar in i tunneln istället för att fortsätta upp genom den restaurerade torrfåran mot omlöpet. Flödet i tunneln är flera kubik och vattnet från den restaurerade torrfåran är

högst 0.8 m<sup>3</sup>/s, eftersom fisken alltid följer det största flödet borde simma in i tunneln. Som det ser ut idag har inga åtgärder gjorts för att hindra fisken från att simma in i tunneln men det behöver tas fram förslag på hur fisken hindras från att simma in i tunneln och istället simma upp mot omlöpet.

Försök har gjorts att ta reda på vilka person och roller som utgjorde projektgruppen samt hur projektprocessen såg ut för omlöpet, dock utan resultat. Frågeställningen har lyfts till de kontaktpersoner som författaren har haft på Statkraft utan att något svar har erhållits, så tyvärr får den här frågeställningen vara obehandlad. Frågeställningen i sig är intressant eftersom hela projektet med omlöpet känns som att det har stressats fram genom att man från Statkrafts sida lade ut allt ansvar för projekteringen på en konsult. Fiskvägar är komplexa anläggningar och en projektgrupp borde innehålla personer med specialkompetens inom området för att få ett bra resultat som går att lite på. Att det här examensarbetet blev initierat pekar på att man från Statkrafts sida inte har varit säker på hur bra projektet med omlöpet har blivit. Det rekommenderas att i samband med en framtida analys av projektprocessen för Anundsjö omlöp även studera hur Statkraft styr sina projekt och hur de bygger sina projektgrupper för att de i framtiden ska få ett resultat som man är säker på uppfyller krav och reglementen och samtidigt få en effektivare projektprocess.

Den ekonomiska aspekten hade också varit intressant att studera för omlöpsprojektet och svara på frågor såsom: Är projektet ekonomiskt försvarbart eller hade det hade varit billigare att riva dammen och lägga ner kraftverket? Gjordes det en värdering av att riva dammen eller inte? Hur lång blir återbetalningstiden när alla ändringar och tillägg på omlöpet har gjorts? Därför föreslås det ta fram ett vägledande dokument för framtida ekonomiska bedömningar av den här typen av investeringar. Vidare är det viktigt att ställa sig frågan ifall man uppnått den maximala nyttan för vandrande fisk genom investeringen vid Anundsjö kraftverk. Eller hade man fått ännu bättre förutsättningar för vandrande fisk ifall samma pengar investerades i ett närliggande vattendrag? Att se på den alternativa nyttan anses vara ett bra framtida exjobb som en ny student kan ta sig an. Resultatet från en sådan studie kan vara vägvisande för länsstyrelser och andra beslutande organ i hela Sverige så att de pengar som investeras i fiskvandningsprojekt får maximal effekt.

## 8 Källor

- Absolon, R., E. Dawley, B. Sandford, J. Ferguson, and D. Brege. 2002. Relative survival of juvenile salmon passing through the spillway of The Dalles Dam, 1997-2000. Report to U.S. Army Corps of Engineers, Contract W66QKZ83437725, Portland, Oregon. (Available from NOAA Fisheries, Fish Ecology Division, 2725 Montlake Blvd. E., Seattle, Washington 98112)
- Archer, D., Rippon, P., Inverarity, R. & R. Merrix, 2008. The role of regulating releases and natural spates on salmonid migration in the River Tyne, north-east England. British Hydrological Society 10th National Hydrology symposium, Exeter;1–6.
- Bentley, W., and H. Raymond. 1976. Delayed migrations of yearling Chinook salmon since completion of Lower Monumental and Little Goose Dams on the Snake River. Transactions American Fisheries Society 105:422-424.
- BioSonics, Inc. 1999a. Hydroacoustic study at John Day Dam, 1997. Volume 1 – Fish Passage. Report to U.S. Army Corps of Engineers, Contract DACW57-96-D-005. (Available from U.S. Army Corps of Engineers, P.O. Box 2946, Portland, Oregon 97208)
- Calles O, Greenberg LA. 2005. Evaluation of nature-like fishways for re-establishing connectivity in fragmental salmonid populations in the River Emån. River Research and Applications. 21: Sid 951-960.
- Calles O, Greenberg LA. 2007. The use of two nature-like fishways by some fish species in the Swedish River Emån. Ecology of Freshwater Fish.
- Calles O, Greenberg L. 2009. Connectivity is a two way street – The need for a holistic approach to fish passage problems in regulated rivers. River Research and Applications. 25: Sid 1268-1286.
- Calles O, Gustafsson S, Österling M. 2012. Naturlika fiskvägar i dag och i morgon. Karlstad University Studies, 2012:20. 45 sid.
- Calles O, Degerman E, Näslund I, Wickström H. 2013. Fiskvandring – arter, drivkrafter och omfattning i tid och rum. Underlag till vägledning om lämpliga försiktighetsmått och bästa möjliga teknik för vattenkraft. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2013:11. 41 sid.
- Calles O, Degerman E, Wickström H, Christiansson J, Gustafsson S, Näslund I. 2013. Anordningar för upp- och nedströms passage av fisk vid vattenanläggningar.

Underlag till vägledning om lämpliga försiktighetsmått och bästa möjliga teknik för vattenkraft. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2013:14. 114 sid.

Degerman E, 2008. Ekologisk restaurering av vattendrag. Naturvårdsverket och Fiskeriverket. Kap 5. Sid 101-134.

DWA, 2005. Fish Protection Technologies and Downstream Fishways. Dimensioning, Design, effectiveness Inspection. Hennef: German Association for Water, Wastewater and Waste (DWA).

EU-kommissionen. 2000. EU:s ramdirektiv för vatten (2000/60/EG). EU-kommissionen.

Ferguson, J., G. Matthews, R. McComas, R. Absolon, D. Brege, M. Gessel, and L. Gilbreath. 2005. Passage of adult and juvenile salmonids through federal Columbia River power system dams. NOAA Technical Memorandum NMFS-NWFSC-64. 160 p.

Ferguson, J. 2005. The behavior and Ecology of Downstream Migrating Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) and Brown Trout (*Salmo trutta* L.) on Regulated Rivers in Northern Sweden. Vattenbruksinstitutionen. Rapport 44.

Fisheries Society 99:664–671. Bell, M. 1972. A compendium on the survival of fish passing through spillways and conduits. Report to U. S. Army Corps of Engineers, Portland, Oregon. (Available from U.S. Army Corps of Engineers, P.O. Box 2946, Portland, Oregon 97208)

Fiskevårdsområdet Lödde- och Kävlingsån. 2016. <http://www.loddean-fiske.se/fiskarter/havsoring>. (Hämtad 11.05.2016)

Fjeldstad H-P, Diserud OH, Fiske P, Forseth T, Hvidsten A, Järnegren J, Kvingedal E, Uglem I, Ökland F. 2012. A concept for improving Atlantic salmon *Salmo salar* smolt migration past hydro power intakes. Journal of Fish Biology. 81, sid 642-663.

Fjeldstad H-P, Alfredsen K, Boissy T. 2013. Optimising Atlantic salmon smolt survival by use of hydropower simulation modelling in a regulated river. Fisheries Management and Ecology.

Göteborgs universitetsbibliotek. 2014. Källkritik. Göteborgs universitet. <http://www.ub.gu.se/skriva/kallkritik/> (Hämtad 2016-02-29)

Hagström, Pär. 2010. Nytt liv i torrlagd älv. MitMedia. <http://www.allehanda.se/angermanland/ornskoldsvik/nytt-liv-i-torrlagd-älv>. (Hämtad 29.02.2016).



- Havs- och vattenmyndigheten. 2014. Harr (*Thymallus thymallus*).  
<https://www.havochvatten.se/hav/fiske--fritid/arter/lista-over-vanliga-arter-i-svenska-vatten/arter/harr.html>. (Hämtad 11.05.2016).
- Havs- och vattenmyndigheten. 2014 Ramdirektivet för vatten – utgångspunkt för svensk vattenförvaltning. Havs- och vattenmyndigheten.  
<https://www.havochvatten.se/hav/samordning--fakta/miljomal--direktiv/vattendirektivet.html>. (Hämtad 2016-06-08).
- Hayes, F.R., 1953. Artificial freshets and other factors controlling the ascent and population of Atlantic salmon in the LeHavre River, Nova Scotia. Published by the Fisheries research board of Canada, Ottawa, 54 s.
- Hesthagen, T. and E. Garnas. 1986. Migration of Atlantic salmon smolts in River Orkla of central Norway in relation to management of a hydroelectric station. North American Journal Fisheries Management 6:376-382.
- ICPDR, 2013. Measures for ensuring fish migration at transversal structures. International commission for the protection of the Danube river, 50 s.
- Israelsson, Fredrik. 2015. Bygget som ska ge Moälven liv. Sveriges Television AB.  
<http://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasternorrland/bygget-som-ska-ge-moalven-liv>. (Hämtad 2016-02-29)
- Ivarsson, Anders. 2004. Lax, Atlantisk (*Salmo Salar*). <http://www.fiskbasen.se/lax.html>. (Hämtad 2016-02-08).
- Ivarsson, Anders. 2004. Havsöring (*Salmo trutta trutta*).  
<http://www.fiskbasen.se/havslaxoring.html>. (Hämtad 2016-02-08).
- Ivarsson, Anders. 2004. Harr (*Thymallus thymallus*). <http://www.fiskbasen.se/harr.html>. (Hämtad 2016-02-08).
- Jansson, H & Kallin, P. 2005. MOÄLVSPROJEKTET - LIFE05 NAT/S/000109. Från källa till hav, återställning av Moälven. Örnsköldsviks kommun.
- Jonsson, N., L. Hansen and B. Jonsson. 1991. Variation in age, size and repeat spawning of adult Atlantic salmon in relation to river discharge. Journal of Animal Ecology 60:937-947.
- Kristofers PJJ. 2014. Kartläggning av fysiska faktorer som begränsar laxbeståndet i Ljungan nedströms Viforsens kraftverk. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. (Examensarbete inom Institutionen för vann- og miljøteknikk).

- Lundqvist, H., P. Rivinoja, m.fl., 2008. Upstream passage problems for wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a regulated river and its effect on the population. *Hydrobiologia* 602:111–127.
- Länsstyrelsen Västernorrland. 2015. Nu är det fritt fram för fisken i Anundsjöån. Länsstyrelsen Västernorrland. <http://www.lansstyrelsen.se/vasternorrland/Sv/nyheter/2015/Pages/invigning-av-omlopet-i-anundsjo.aspx>. (Hämtad 2016-02-29)
- Muir, W., S. Smith, J. Williams, and B. Sandford. 2001. Survival of juvenile salmonids passing through bypass systems, turbines, and spillways with and without flow deflectors at Snake River Dams. *North American Journal Fisheries Management* 21:135–146.
- NMFS (National Marine Fisheries Service). 2000. Biological Opinion-Reinitiating of Consultation on Operation of the Federal Columbia River Power System and Juvenile Transportation Program, and 19 Bureau of Reclamation Projects in the Columbia River Basin. <http://www.nwr.noaa.gov/1hydrop/hydroweb/docs/Final/2000Biop.html> (accessed 17-Oct-2005).
- Odeh, M. Orvis, C. 1998. Downstream fish passage design considerations and developments on hydroelectric projects in the north-east USA. - In: Jungwirth, M et al. (Hrsg.): Fish migration and fish bypasses. - Oxford (fishing News Books), 67 - 280.
- Pavlov, D.S. 1989. Structures assisting the migrations of non-salmonidfish: USSR.-FAO Fisheries Technical Paper 308, 1-97.
- Pirhonen, J., L. Forsman, A. Soivio, and J. Thorpe. 1998. Movements of hatchery reared *Salmo trutta* during the smolting period, under experimental conditions. *Aquaculture* 168:27-40.
- R 2 Resource Consultants, Inc. 1997. Annotated bibliography of literature regarding mechanical injury with emphasis on effects from spillways and stilling basins. Contract DACW57-96-D-0007, Task Order No. 03. Report to Portland District, U. S. Army Corps of Engineers. (Available from U. S. Army Corps of Engineers, P.O. Box 2946, Portland, Oregon 97208)
- Review and Documentation of Research and Technologies on Passage and Protection of Downstream Migrating Catadromous Eels at Hydroelectric Facilities, EPRI, Palo Alto, CA, Allegheny Energy Supply, Monroeville, PA, Dominion, Richmond, VA, Duke Energy Corp., Charlotte, NC, Exelon Power, Kennett Square, PA, Hydro-Québec, Montreal,

Quebec, Canada, New York Power Authority, White Plains, NY, Ontario Power Generation Inc., Toronto, Ontario, Canada, U.S. Department of Energy Hydropower Program, Idaho Falls, ID: 2001. 1000730.

Risinger B, Johlander A, Andersson I, Nöbelin F. 2015. Naturliknande fiskvägar i södra Sverige. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2014:11. 128 sid.

Rivinoja. P., J. Östergren, K. Leonardsson, H. Lundqvist. J. Kiviloog, L. Bergahl and L. Brydsten. 2004. Downstream migration of *Salmo salar* and *S. trutta* smolts in two regulated northern Swedish rivers. In: Proceedings, Fifth International Symposium on Ecohydraulics, Madrid, Spain.

Ruggles, C. P., and D. Murray. 1983. A review of fish response to spillways. Canadian Technical Report Fisheries Aquatic Sciences No. 1172. Freshwater and Anadromous Division Research Branch, Department of Fisheries and Oceans, Halifax

Sjömatfrämjandet. 2016. *Lax*. <http://sjomatsframjandet.se/arter/lax-3/>. (Hämtad 2016-06-07)

Statkraft. 2016. Anundsjö. Statkraft Sverige. <http://www.statkraft.se/energikallor/kraftverk/sverige/Anundsjo/>. (Hämtad 2016-02-29)

Stickler, Morten. 2016. Case Moälven, Statkraft Sverige. Powerpoint presentation. Statkraft Sverige. Stockholm.

Stickler, Morten. Phd. Senior Advisor Social & EnvSustainability Statkraft. Mailkonversation 7 juni 2016.

Thorstad, E.B. & T.G. Heggberget, 1998. Migration of adult salmon (*Salmo salar*): the effects of artificial freshets. *Hydrobiologia* 372:339–346.

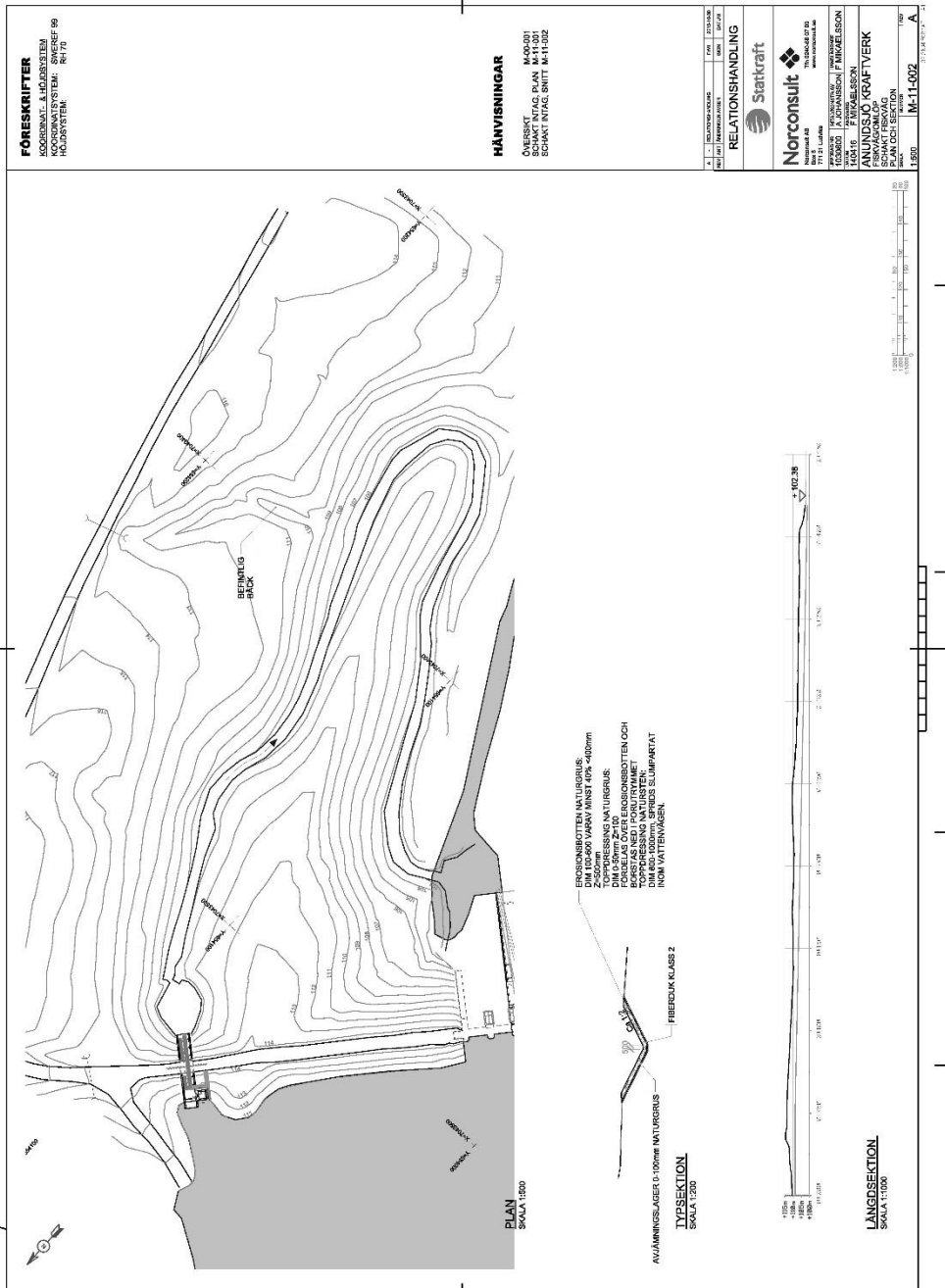
Thorstad, E. B., P. Fiske, m.fl., 2005. Upstream migration of Atlantic salmon in three regulated rivers, COISPA Tecnologia & Ricerca / Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Thorstad, E. B., F. Okland, m.fl., 2008. Factors affecting the within-river spawning migration of Atlantic salmon, with emphasis on human impacts. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 18(4):345–371.

Travade, F. Larinier, M. 1992. La migration de dévalaison: problèmes et dispositifs. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 326/327, 165 - 176.

- Ugedal O, Kroglund F, Barlaup B, Lamberg A. 2014. Smolt – en kunnskapsoppsummering. Miljødirektoratet. M136-2014. 128 sid.
- Wertheimer, R., J. Dalen, and P. Madson. 2001. Evaluation of steelhead kelt passage routes at Bonneville Dam, 2000. Report prepared by U.S. Army Corps of Engineers, Portland District Fisheries Field Unit, Bonneville Lock and Dam, Cascade Locks, Oregon. (Available from U.S. Army Corps of Engineers, P.O. Box 2946, Portland, Oregon 97208)
- Whitney, R., L. Calvin, M. Erho, and C. Coutant. 1997. Downstream passage for salmon at hydroelectric projects in the Columbia River Basin: Development, installation, and evaluation. Northwest Power Planning Council, Portland, Oregon. Report 97-15. <http://www.nwcouncil.org>. (accessed 18-Oct-2005).
- Williams, J., S. Smith, R. Zabel, W. Muir, M. Scheuerell, B. Sandford, D. Marsh, R. McNatt and S. Achord. 2005. Effects of the federal Columbia River power system on salmonid populations. NOAA Technical Memorandum NMFS-NWFSC-63. 150 p.
- Östman, E. 1911. Iduns kokbok. Isaac Marcus' Boktryckeriaktiebolag. Stockholm. <http://restaurang.se/kuriosum.php?id=22> (hämtad 11.05.2016).

# Appendix 1 – Relationsritning omlöp



## Appendix 2 - Uppbyggnad av modell

I det här appendixet kommer det att presenteras vilken data som har använts för de olika modellerna, datans ursprung och hur modellerna byggdes upp steg för steg. Det görs för att studien ska vara transparent och lätt att reproducera för vidare studier inom ämnet.

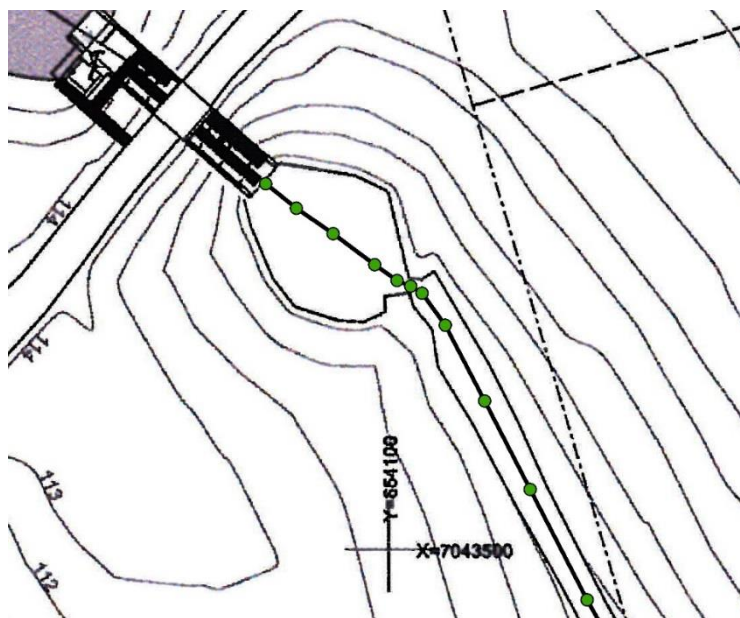
### *Projekterad modell*

Den projekterade modellen byggdes upp från relationsritningarna som finns över omlöpet. Resultaten från den här modellen visar hur väl omlöpet fungerar i teorin och ger en indikation på hur bra det projekterade underlaget är samtidigt som det visar konsultens kunskaper inom omlöpsdesign.

För att få fram XY-koordinater på centerlinje och strandlinje användes ritning "M-00-001 – fiskväg/omlöp, översikt/situationsplan". För att få fram höjdprofil och tvärsnitt för omlöpet användes ritning "M-11-002 – fiskväg/omlöp, schakt fiskväg, plan och sektion". Ritningarna återfinns i appendix 1. Ritningarna finns i digitalt format hos Knut Alfredesen på NTNU och Morten Stickler på Statkraft.

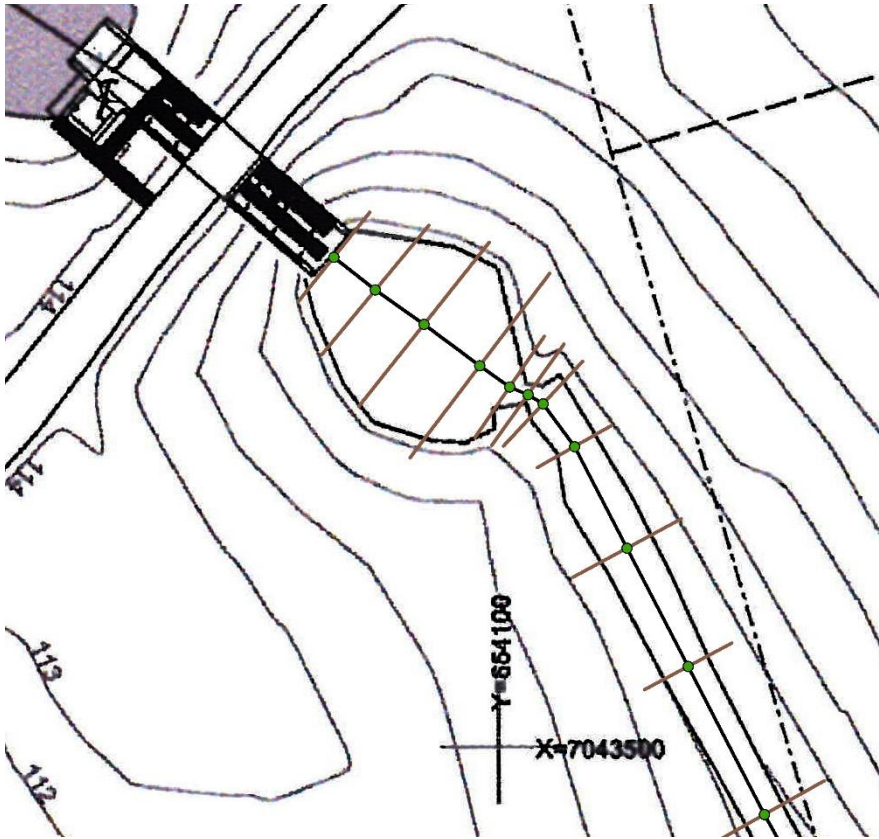
### *Tillvägagångssätt – steg för steg*

1. Ritningen importerades i Arcmap10.3 och georefererades med hjälp av de sex koordinaterna i ritning M-00-001. Referenssystem SWEREF99\_TM.
2. Punkter sattes ut i centerlinjen på fri hand. Punkterna sattes tätare i svängar och intressanta partier och glesare i raka partier. En centerlinje drogs mellan punkterna.



Figur 35. Centerlinje ritad på fri hand i ArcMap 10.3

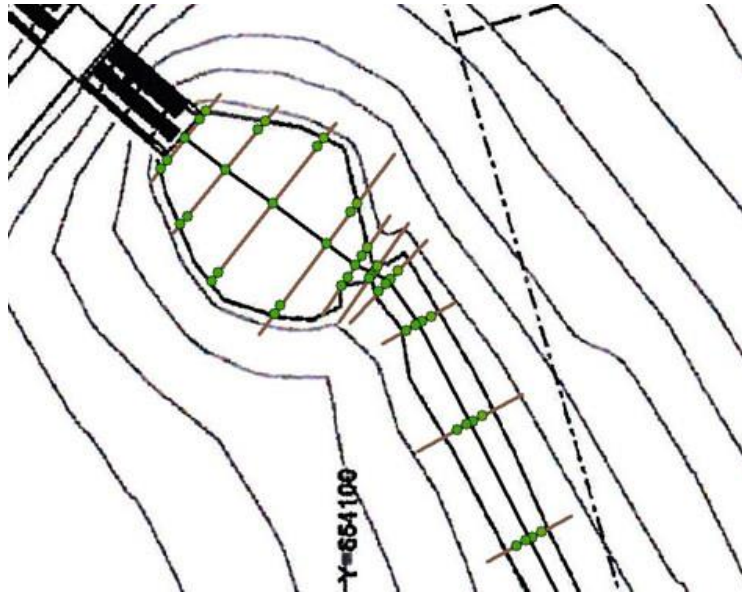
3. Avstånd mellan centerlinjen och kantlinjer för botten och överkant beräknades med hjälp av tvärsnittet i ritning M-11-002. Den totala sektionsbredden är angiven till 2 meter enligt Stickler, M. 2016. Det ger ett avstånd från centerlinje till bottenkant på 0.25 meter och från bottenkant till toppkant på 0.75 meter. Ett antagande gjordes att kanalen var 2 meter bred hela vägen bortsett från de punkterna i den övre bassängen.
4. Genom varje punkt i centerlinjen drogs en tvärsektionslinje som var vinkelrät mot centerlinjen för att kunna placera ut punkter för botten- och toppkant.



Figur 36. Tværseksjonslinjerna är vinkelräta mot centerlinjen.

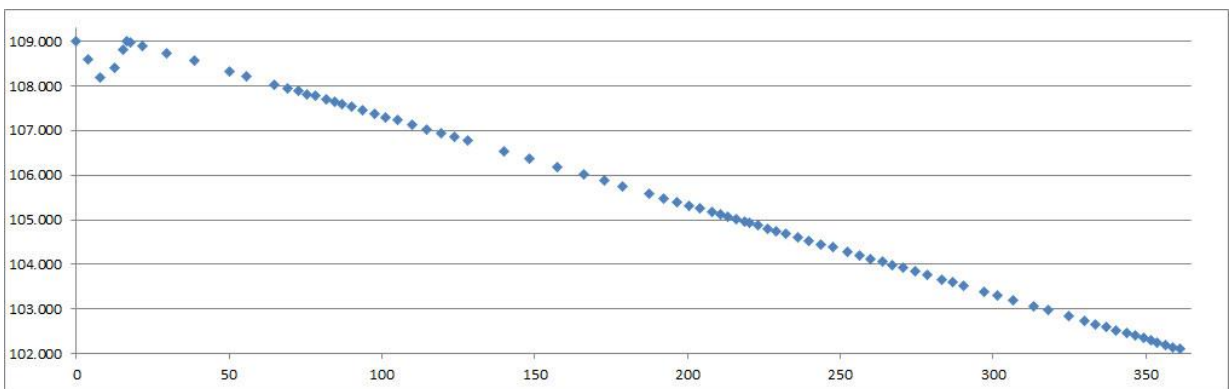
Punkter för botten- och toppkant placerades ut på tvärseksjonslinjerna för hand. Avståndet för varje punkt mättes. Accepterad felmarginal var 0.01 meter. Det här steget var mycket tidskrävande. Ett försök gjordes att i Excel matematiskt beräkna koordinaterna för botten- och topppunkter utifrån centerlinjen. Det blev snabbt för komplext då varje seksjonslinje ska skära centerpunkten vinkelrätt.





Figur 37. Punkter för botten- och toppkant inmätta och utplacerade.

5. Alla punkter importerades till Excel där varje punkt blev tilldelad en höjd och friktionsförlust. Här gjordes ett antagande med konstant lutning efter den övre bassängen på 2 % enligt ritning M-11-002 och Stickler, M. 2016. Starthöjd för centerpunkten var 109.0 möh. Punkterna i den övre bassängen tilldelades en höjd så att en bassäng skapades. Friktionen angavs till 0.5 för alla punkter.

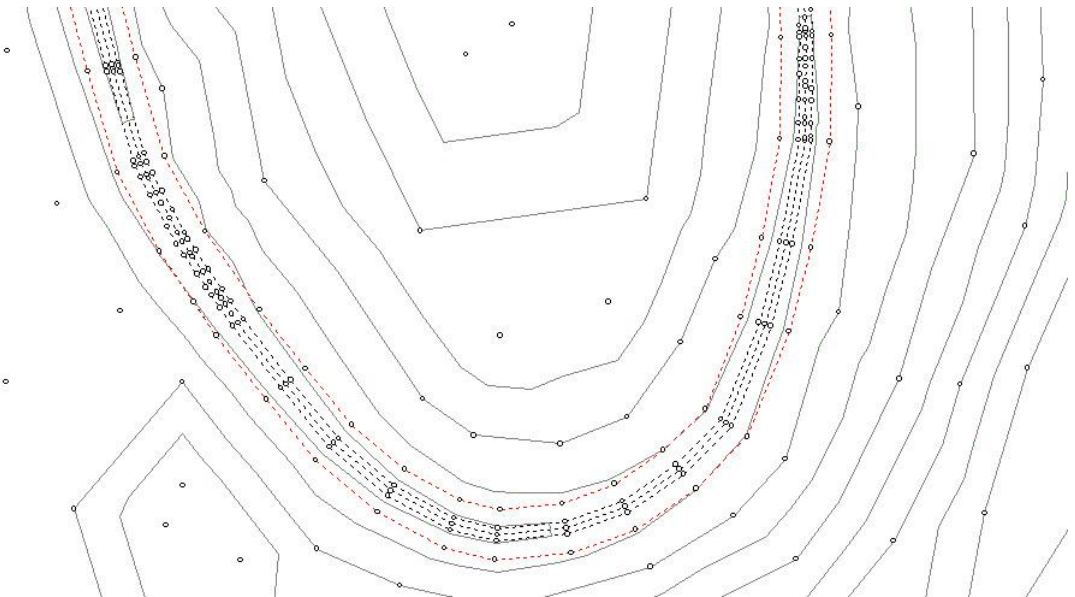


Figur 38. Höjden på alla punkter i centerlinjen plottades i en graf för att kontrollera att lutningen var konstant.

Point	X	Y	Elevation	Roughness
1	654088.531	7043533.929	109.000	0.5
2	654091.388	7043531.654	108.600	0.5
3	654094.775	7043529.272	108.200	0.5
4	654098.638	7043526.415	108.400	0.5
5	654100.701	7043524.933	108.800	0.5
6	654101.971	7043524.404	109.000	0.5
7	654103.030	7043523.769	108.975	0.5
8	654105.199	7043520.806	108.902	0.5
9	654108.851	7043513.768	108.743	0.5

Figur 39. Punktene i bassängen (punkt 1-6) blev tilldelade antagna värden. Övriga punkters höjd beräknades baserat på omlöpets lutning.

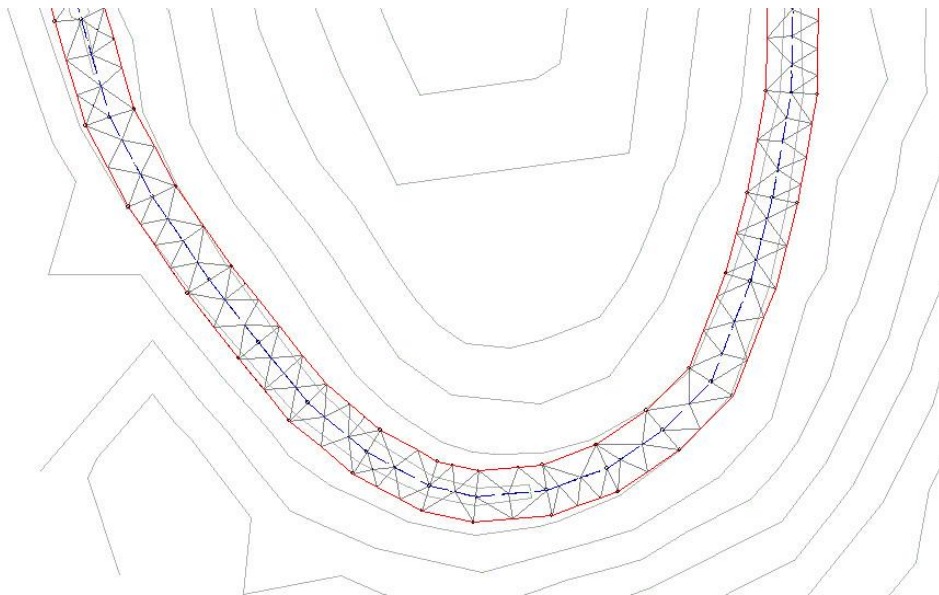
- Koordinater för höjdkurvorna i ritning M-00-001 importerades från Arcmap10.3 till Excel.
- Alla punkter importerades i R2D\_BED.
- En "exterior boundary" definierades längs toppunkterna, en "breakline" drogs längs centerlinjen och en del punkter rensades bort/lades till för att ta bort ojämnheter/jack i höjdkurvorna.



Figur 40. En översiktsbild över hur resultatet från River\_BED såg ut innan de importerades in i River\_MESH.

- Bed filen importerades sedan in i R2D\_MESH.

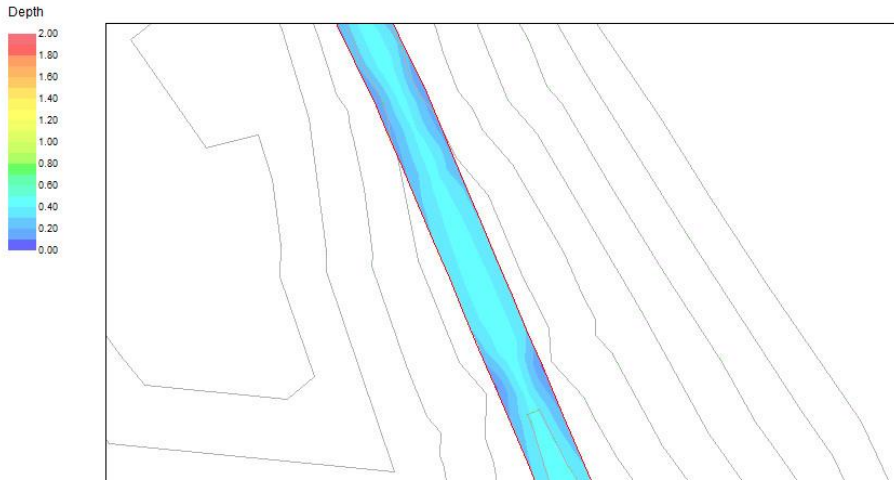
10. I R2D\_MESH drogs ett rutnät upp. En "breakline" drogs längs centerlinjen för att få noder längs den här linjen. Inlopp och utlopp fick extra noder för bättre upplösning. Lägsta QI värde var 0.276.



Figur 41. En översiktisbild över hur resultatet såg ut från River\_MESH.

11. Mesh filen importerades sedan slutligen in i River2D.
12. I river2D angavs följande parametrar: Nedströms villkor,  $H=102,48$  möh. Inflödeshöjd angavs till 109,3 möh. Simuleringar gjordes för 0.8 och 0.25 m<sup>3</sup>/s som är angivet flöde för vandringsäsong respektive vintersäsong enligt Stickler, M. 2016.

För vandringsflödet 0.8 m<sup>3</sup>/s upptäcktes att den modellerade kanalen var för smal vilket resulterade i att det simulerade vattendjupet och vattenhastigheten blev felaktiga. Det upptäcktes genom att det inte fanns någon vattenlinje och att vattendjupet vid den definierade yttre gränsen (exterior boundary) var ner mot 0.3 meter på vissa ställen.

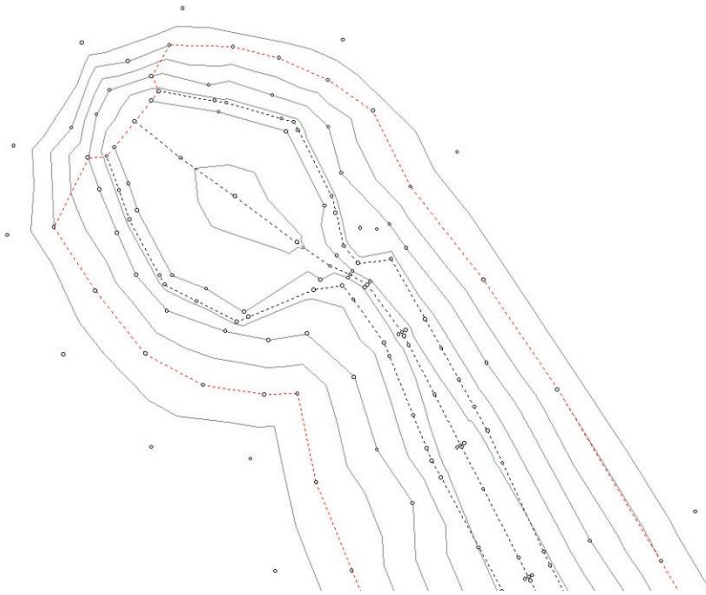


Figur 42. På bilden syns hur den definierade gränsen (röd linje) är det som begränsar omlöpets bredd.

För att åtgärda det här felet breddades den definierade yttre gränsen. Det togs även ett beslut att bredden på omlöpskanalen skulle vara som inritat i ritning M-00-001 för att få en mer representativ modell. För att få detta så flyttades punkterna för toppkanten och placerades längs omlöpet kant enligt ritning M-00-001 i Arcgis10.3. Höjden för toppkanten var oförändrad vilket medför att kantlutningen varierar genom omlöpet. Sedan upprepades steg 6-13 enligt ovan.

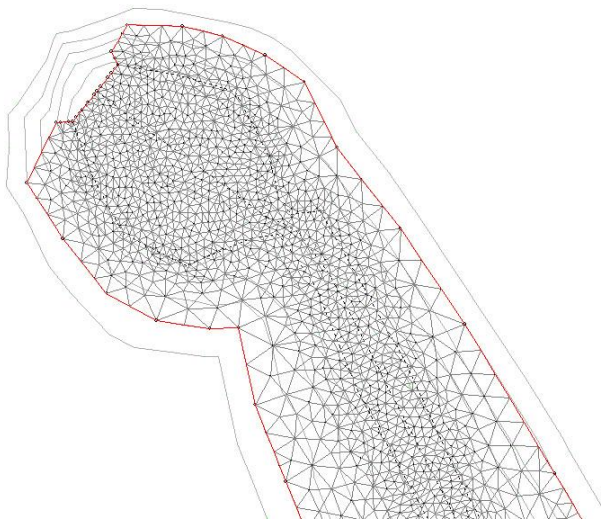


Figur 43. Ny placering av omlöpets topppunkter.



Figur 44. Ny exterior boundary som är bredare för att tillåta vattenyta att expandera obehindrat.

I punkt 13 blev det problem med breaklines för den nya geometrin. Programmet lade till nya breaklines och noder varje gång filen laddades in på nytt och programmet kraschade ofta. Efter flera försök att åtgärda felet togs beslutet att inte använda breaklines, då blev programmet mer stabilt. Istället fick noder läggas till manuellt i omlöpskanalen för att få ett tätt rutnät där.



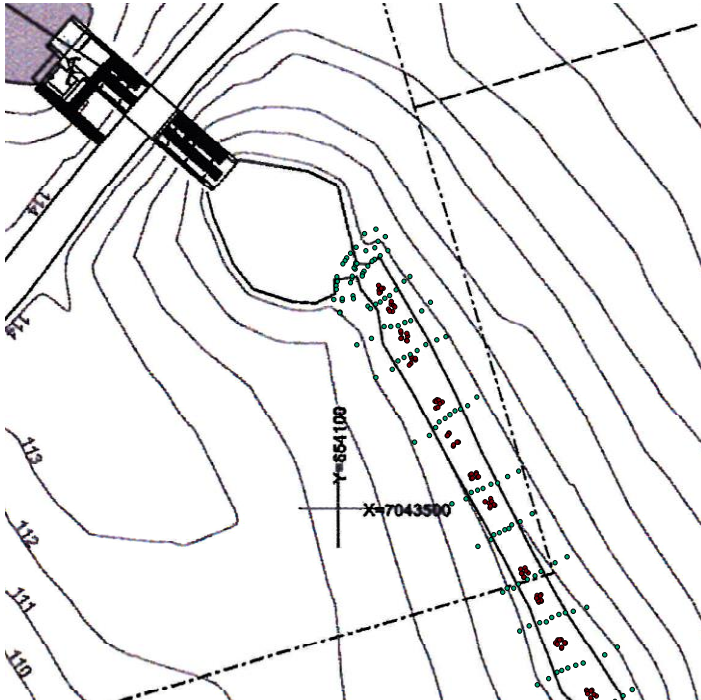
Figur 45. Ett tätare mesh ritades in för att få en bättre upplösning av resultatet.

### Inmätt modell

Datan som används i den inmätta modellen är hämtad från inmätningen av omlöpskanalen som gjordes vid fältbesöket till Anundsjö kraftverk. Mer information om fältbesöket och inmättningsprocessen finns i kapitel 5.

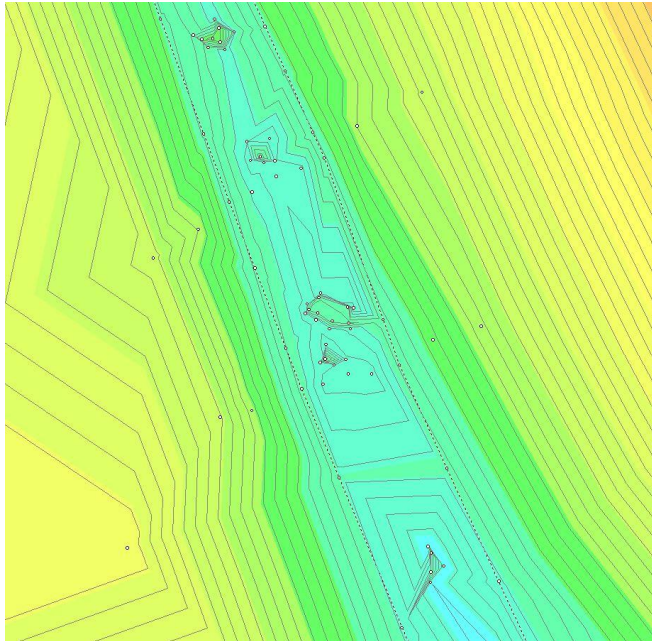
### Tillvägagångssätt – steg för steg

1. Alla mätta punkter importerades först in i ArcMap för att se hur väl de stämde överens med relationsritningen.

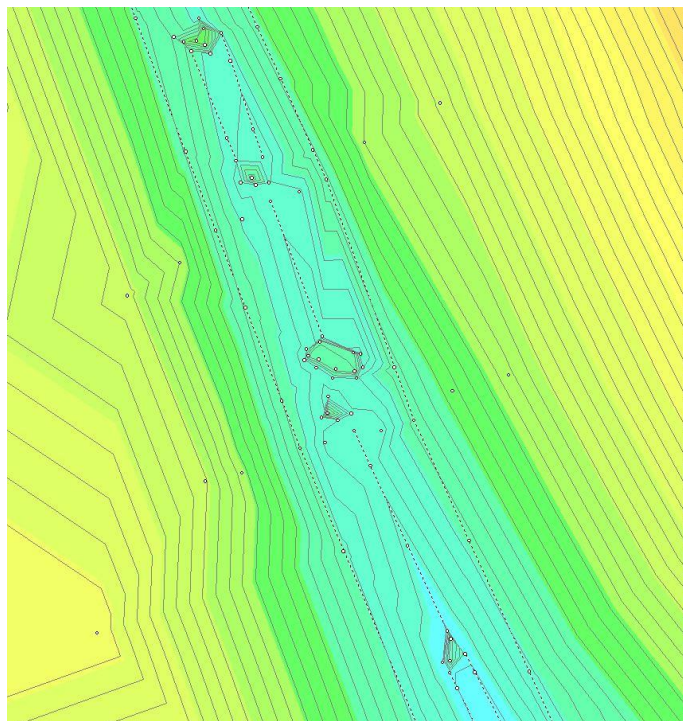


Figur 46. De inmätta punkterna importerades i ArcMap 10.3 för att jämföra hur väl de stämde överens med relationsritningen.

2. Sedan importerades alla punkter in i River\_BED.
3. Punkter interpolerades längs vattenlinjen genom att dra breaklines mellan alla inmätta punkter i vattenlinjen.
4. Sedan interpolerades punkter mellan ståndstenarna genom att använda breaklines.



Figur 47. Nya punkter interpolerades längs vattenlinjen för att få in fler punkter i modellen och en bättre upplösning.



Figur 48. Nya punkter interpolerades mellan ståndstenarna.

5. Sedan tog alle breaklines bort men de interpolerte punkterna lämnades kvar.
6. Nästa steg var att göra kanalen jämnare och rätta ut hack i höjdkurvorna. Det gjordes genom att lägga till punkter manuellt.
7. Ståndstenarna förfinades genom att lägga till fler punkter för att förhindra att modellen interpolerte fel mellan punkterna.
8. Ståndstenarna gjordes även högre eftersom de flesta punkterna på stenarna mättes in vid vattennivån.
9. En del mäta punkter redigerades manuellt där det var tydligt att det uppmätta värdet var felaktigt för att bättre passa trenden hos övriga punkter
10. Nya breaklines drogs i omløpet längs vattnets väg. De placerades nära ståndstenarna for att få så bra oppløsning runt stenarna som möjligt.
11. Det lades in extra punkter mellom varje ståndsten og breakline for att eliminere at programmet skulle interpolere feil.
12. Når BED modellen såg tilrøckligt bra ut importerades den till River\_MESH.
13. Tre ulike tætheter av MESH testades for att se vad som gav en tilrøckligt bra oppløsning utan att simuleringen skulle behøve ta for lång tid. De tre nodtætheterna var 2, 1 og 0.5.
14. Meshet gjordes tætere runt ståndstenarna for att få en bättre oppløsning där genom att anvønde funksjonen "region refine". Nodtætheten angavs till 0.5.
15. Sedan importerades MESH modellerna till River2D for att simulere vattenflødet.
16. Vid inmætning av punkterna i fält, mættes øven flødet i omløpet for att mōjliggøre kalibrering a modellen. Flødet vid mættillfallet var 340 liter/sekund.
17. Vid første kōrningen så gav de två MESH modellerna med nodtæthet 2 og 1 for dølign oppløsning og ett resultat som inte ansågs vara pølittligt. MESH modellen med nodtæthet 0.5 tog for lång tid att simulere (>24h) vilket skulle kunne skapa skapa problem med tidsbrist og fōrsening når modellen skulle kalibreres og kōras for flere ulike fløden.
18. For att snabba på simuleringen delades dærfør kanalen opp i flere etapper med ca 6-8 ståndstenar i varje etapp. Det gjorde att simuleringarna gick mycket fortare.
19. Nackdelen med att dela in i etapper var att øvergångarna mellom varje etapp inte riktig stämde øverens og effekten frå stonar oppstrøms og nedstrøms en etapp kom inte med i modellen. Etapperna sparades som en nødløsning ifall modelleringen inte skulle gå ihop og ett nytt fōrsøk med att modellere opp hela omløpet i en etapp.
20. Ett nytt mesh ritades opp med en nodtæthet på 1 og runt varje ståndsten gjordes en fōrtætning med region refine (nodtæthet 0.5). Mesh filen laddades sedan in i River2D.



21. Upplösningen runt stenarna var fortfarande för grov och vissa stenar försvann. Det åtgärdades genom att i River2D lägga till noder runt alla stenar för hand. Upplösningen i övriga kanalen ansågs okej.
22. Sedan gjordes en körning med en tid på 5000 och största tidssteg på 50. Körningen övervakades hela tiden och när modellen körde fast så åtgärdades det för varje punkt där det blev fel.

Den främsta orsaken till att modellen körde fast var att en nod hamnade i vattenlinjen och det gjorde att hastigheten i den noden skenade iväg. I början så försöktes bed-filen modifieras men oftast gav det här inte något resultat. Det som hjälpte var helt enkelt att ta bort den noden som orsakade att modellen fastnade. En del stenar orsakade mer problem än andra och för dessa stenar fick många noder tas bort, ibland för många. För att fortfarande ha ett tätt mesh så testades det fram var noderna kunde ligga utan att orsaka problem i modelleringen. Ibland så hjälpte det även att göra meshet tätare uppström och nedströms stenen där vattnet rinner.

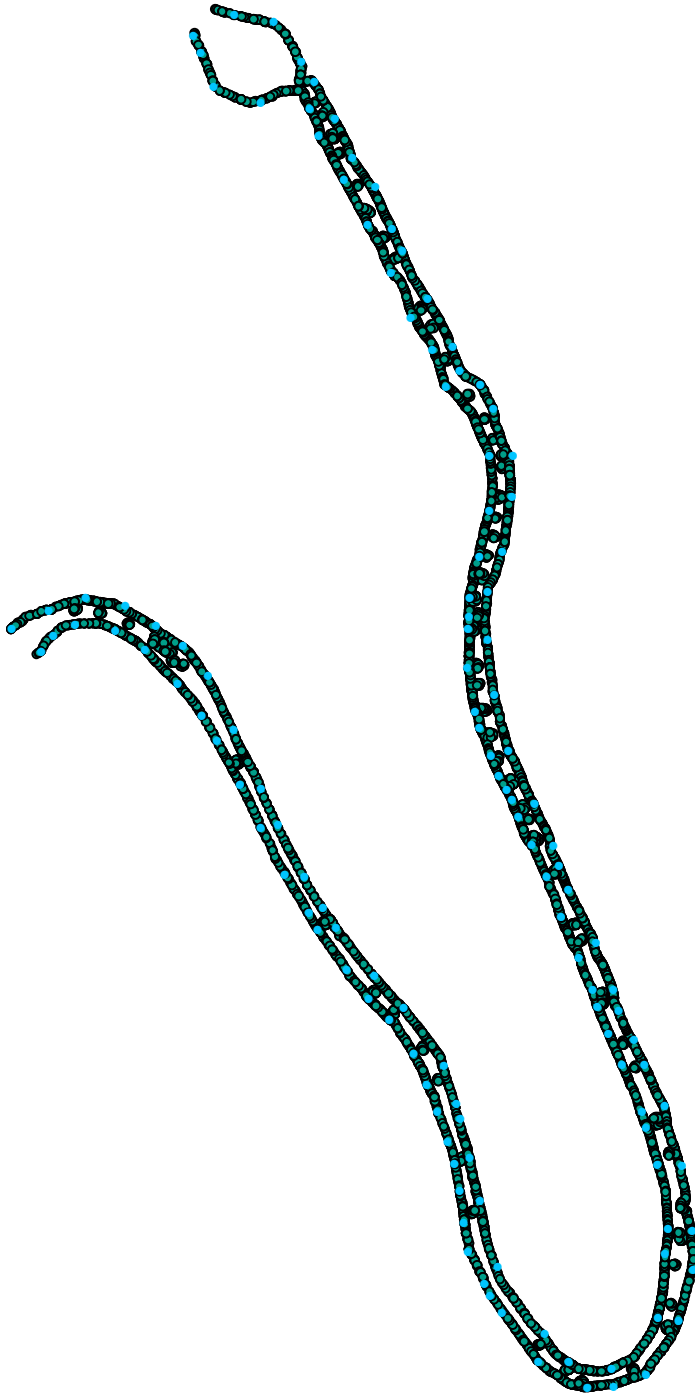
23. Nästa steg var att kalibrera modellen. I River2D finns en parameter att justera och det är råheten. Modellen kalibrerades för olika råheter (0.1, 0.5, 0.8 och 1) och alla kalibreringar gav samma resultat. Ingen skillnad i vattennivå kunde ses. Manualen till River2D säger att justering av råhet är en finjustering och att det bästa sättet att förändra vattennivån är genom att förändra geometrin hos modellen.
24. Den kalibrerade modellen visade några centimeter lägre vattennivå än vad som var inmätt. För ett fåtal punkter var den kalibrerade vattennivån 10 cm och en del punkter stämde bra överens med den inmätta vattenlinjen.
25. På grund av tidsbrist så fick den kalibrerade modellen anses vara tillräckligt bra. Att modellen konsekvent visar en lägre vattennivå är något som man får ha med i bakhuvudet vid simuleringarna.
26. Simuleringar för flödena 250 och 800 liter/sekund gjordes. Råheten angavs till 0.8.

## Appendix 3 - Kalibreringsresultat

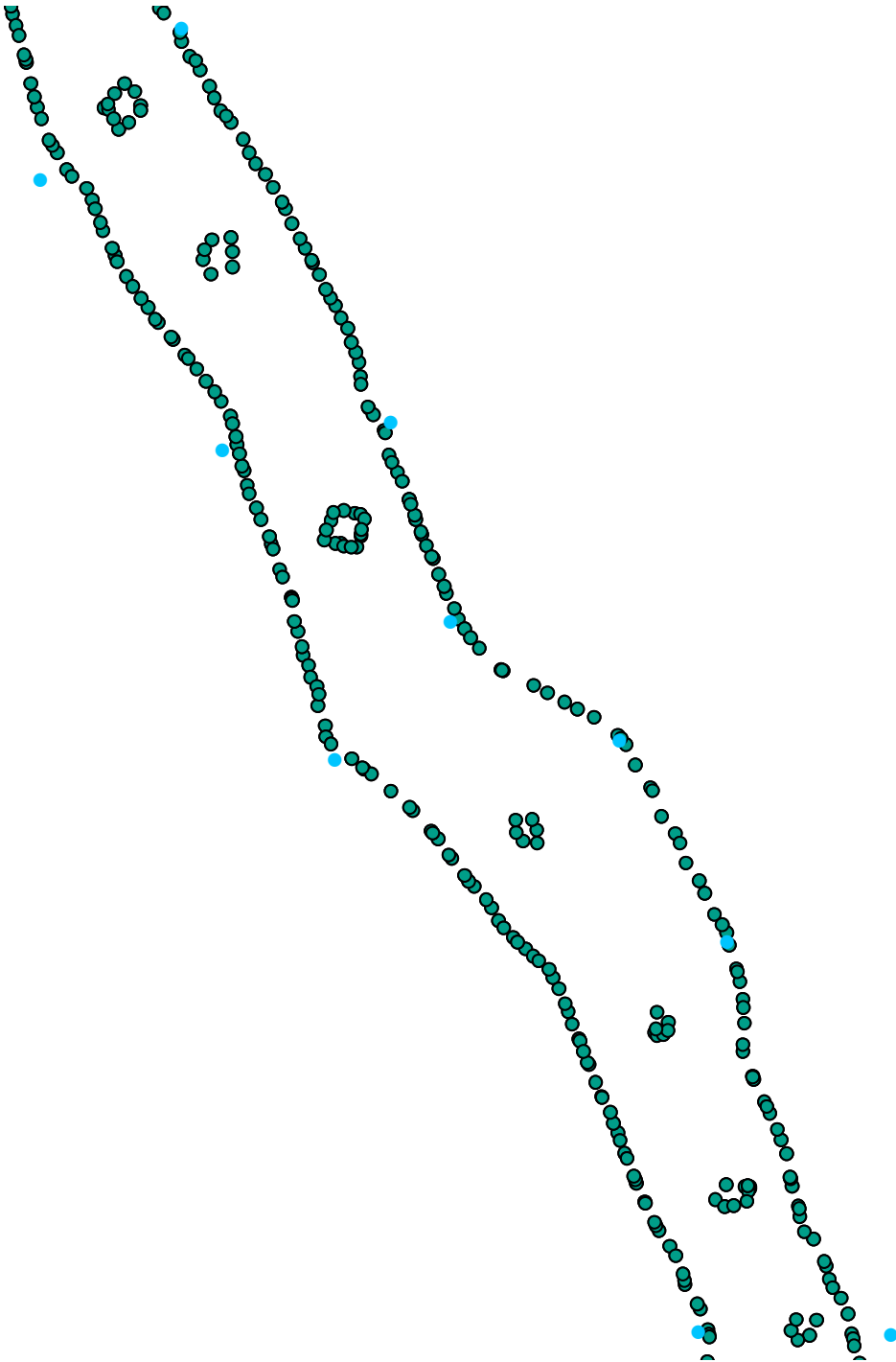
Som nämnt tidigare gjordes flera kalibreringar med olika råhet utan någon skillnad i resultat. Den modellerade vattenlinjen var likadan för alla olika råheter och på grund av tidsbrist fanns det inte möjlighet att modifiera geometrin för att få en bättre modell. Skillnaden mellan den modellerade och den inmätta vattenlinjen var endast några centimeter så modellen fick anses som okej.

Figur 49 och 50 visar den modellerade vattenlinjen (gröna punkter) och de punkter som mättes in längs vattenlinjen (blåa punkter) i Arcmap. För de flesta punkter saknas X cm medans en del punkter stämmer bra överens, ett fåtal punkter har en större differens. Det tros inte göra någon stor skillnad för resultatet som helhet.

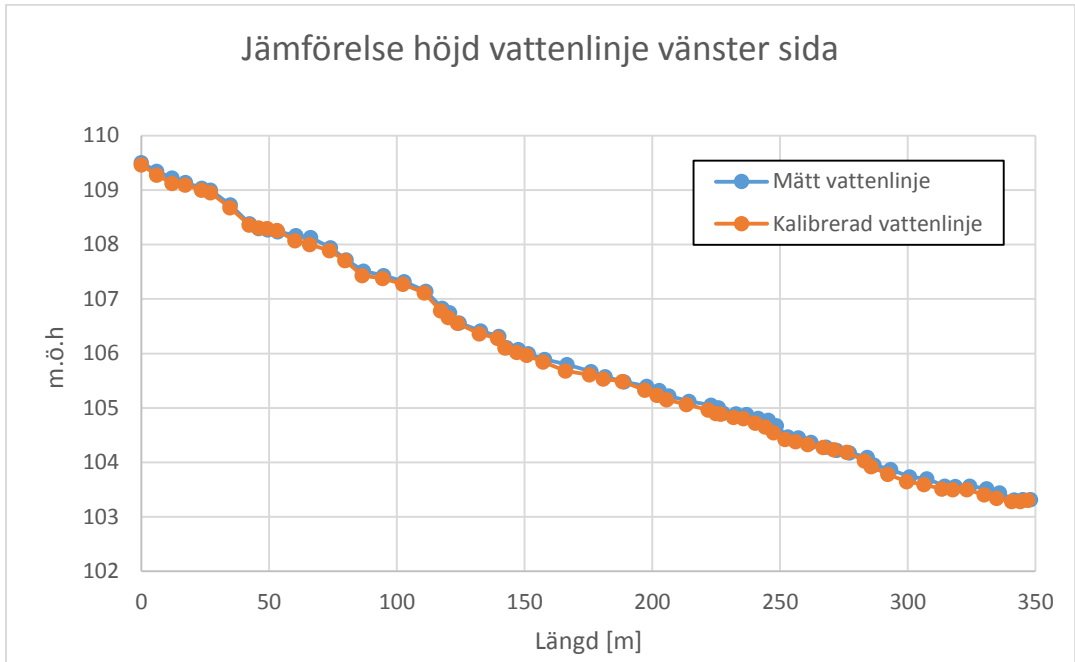
Figur 51, 52, 53 och 54 visar höjdskillnaden mellan den modellerade och den inmätta vattennivån. Datan är plottad som höjd (möh) mot längd (m). Längden erhöles genom att beräkna hypotenusan mellan varje punkt (Pythagoras sats) och eftersom de inmätta punkterna för vattenlinjen är ganska få så skiljer sig längden på det totala omlöpet mot längden i den här figuren. För att få samma längd på grafen för den modellerade vattenlinjen matchades de modellerade punkterna mot de inmätta punkterna med hjälp av Arcmap.



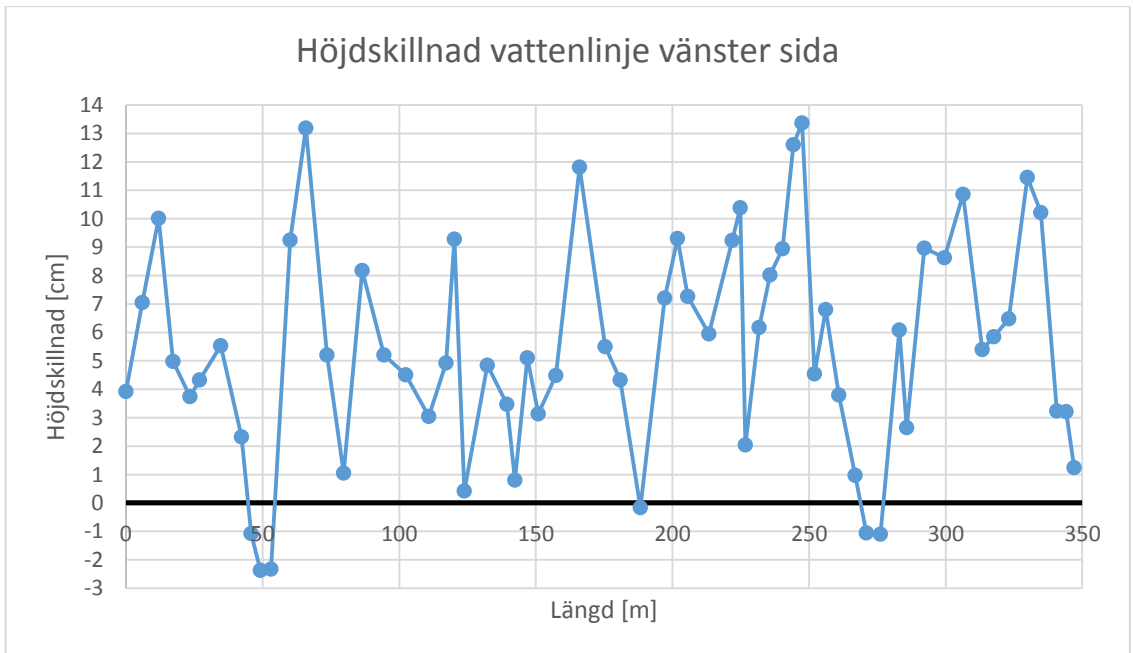
Figur 49. De gröna punkterna visar den modellerade vattenlinjen och de blå punkterna visar den inmätta vattenlinjen.



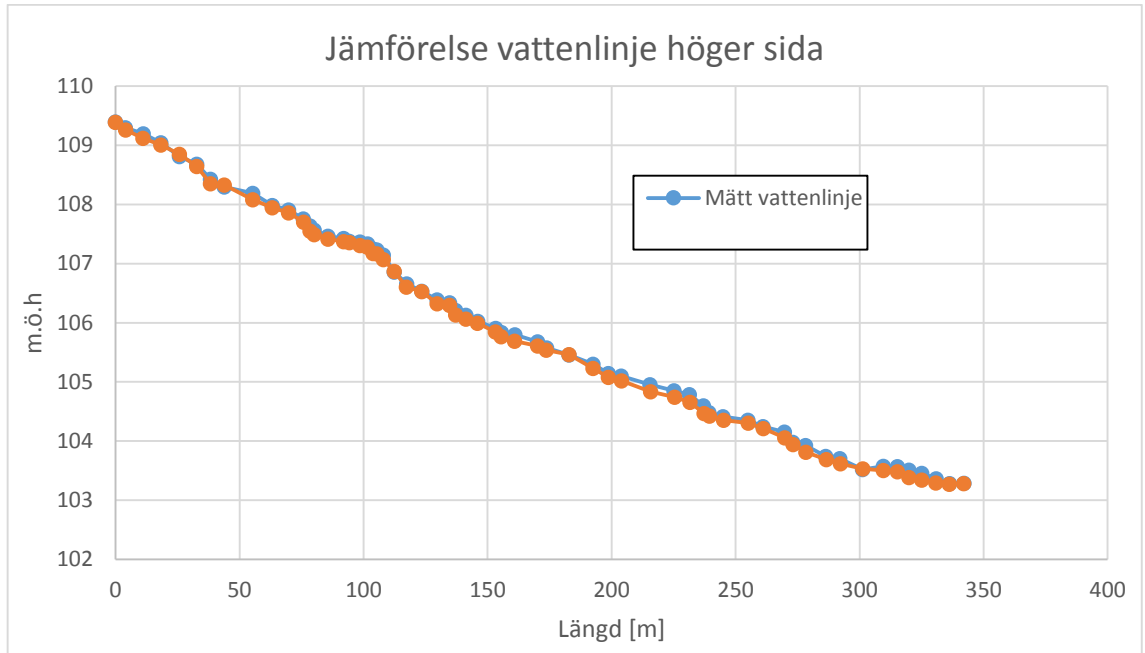
Figur 50. Förstoring över ett segment av omlöpet för att visa avståndet mellan de olika vattenlinjerna.



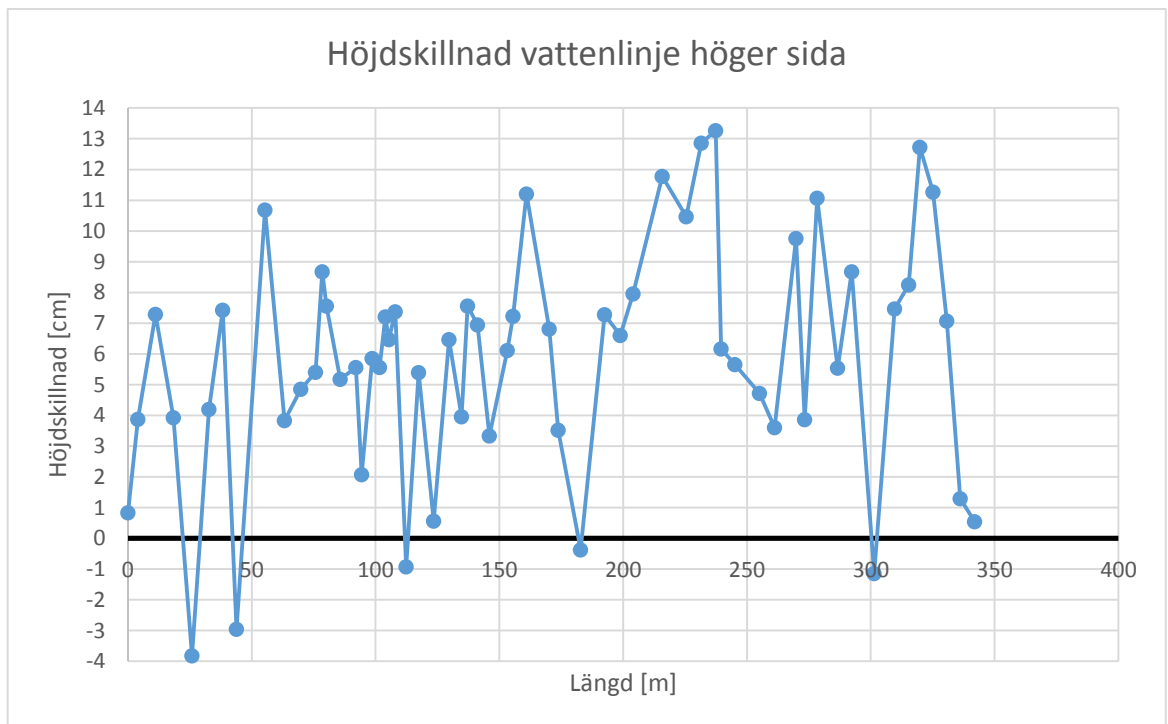
Figur 51. Höjdskillnad för vänster sida, sett nedströms, mellan den modellerade och inmätta vattenlinjen



Figur 52. Höjdskillnad för vänster sida, sett nedströms, mellan den modellerade och inmätta vattenlinjen.



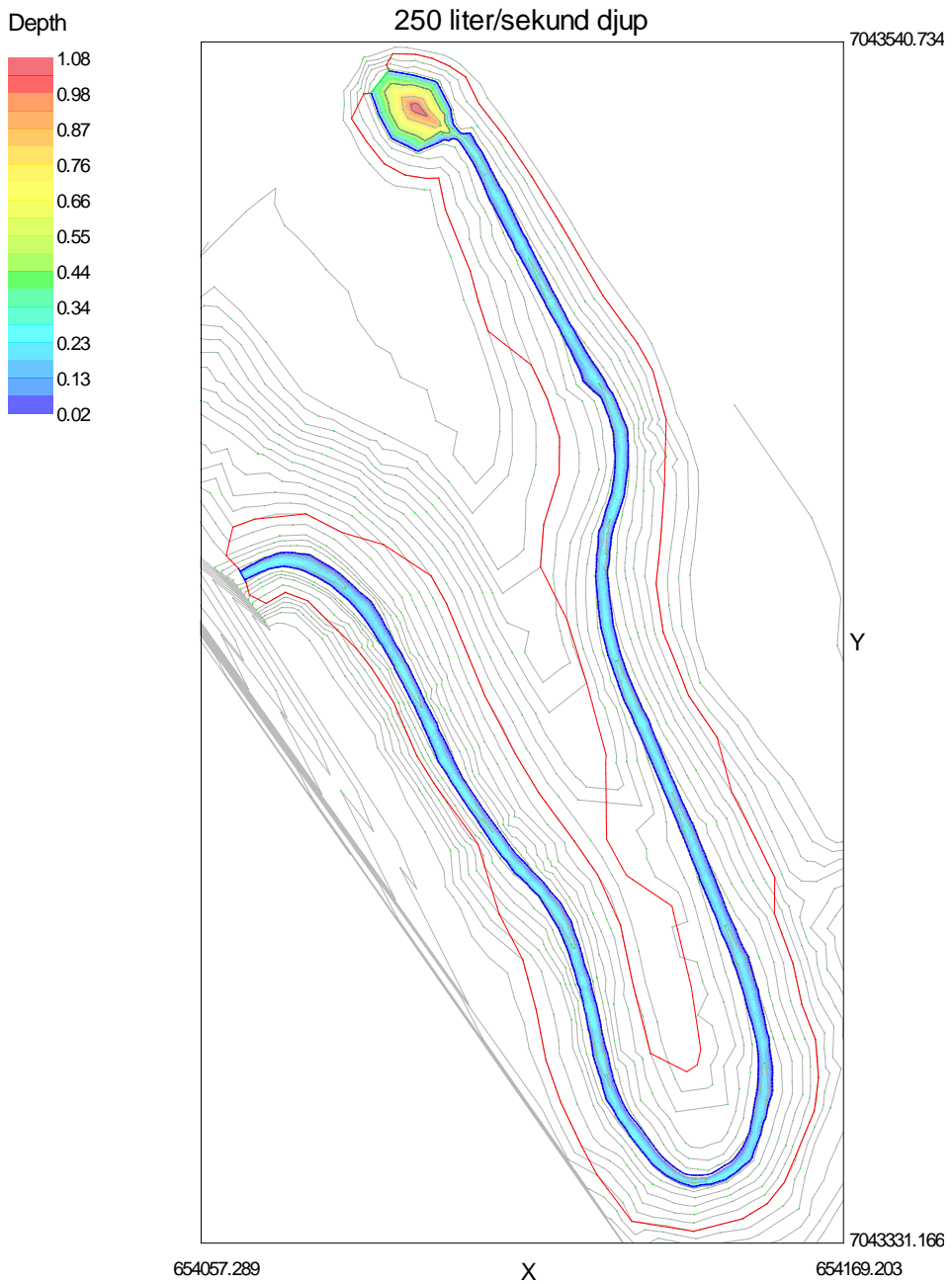
Figur 53. Höjdskillnad för höger sida, sett nedströms, mellan den modellerade och inmätta vattenlinjen.



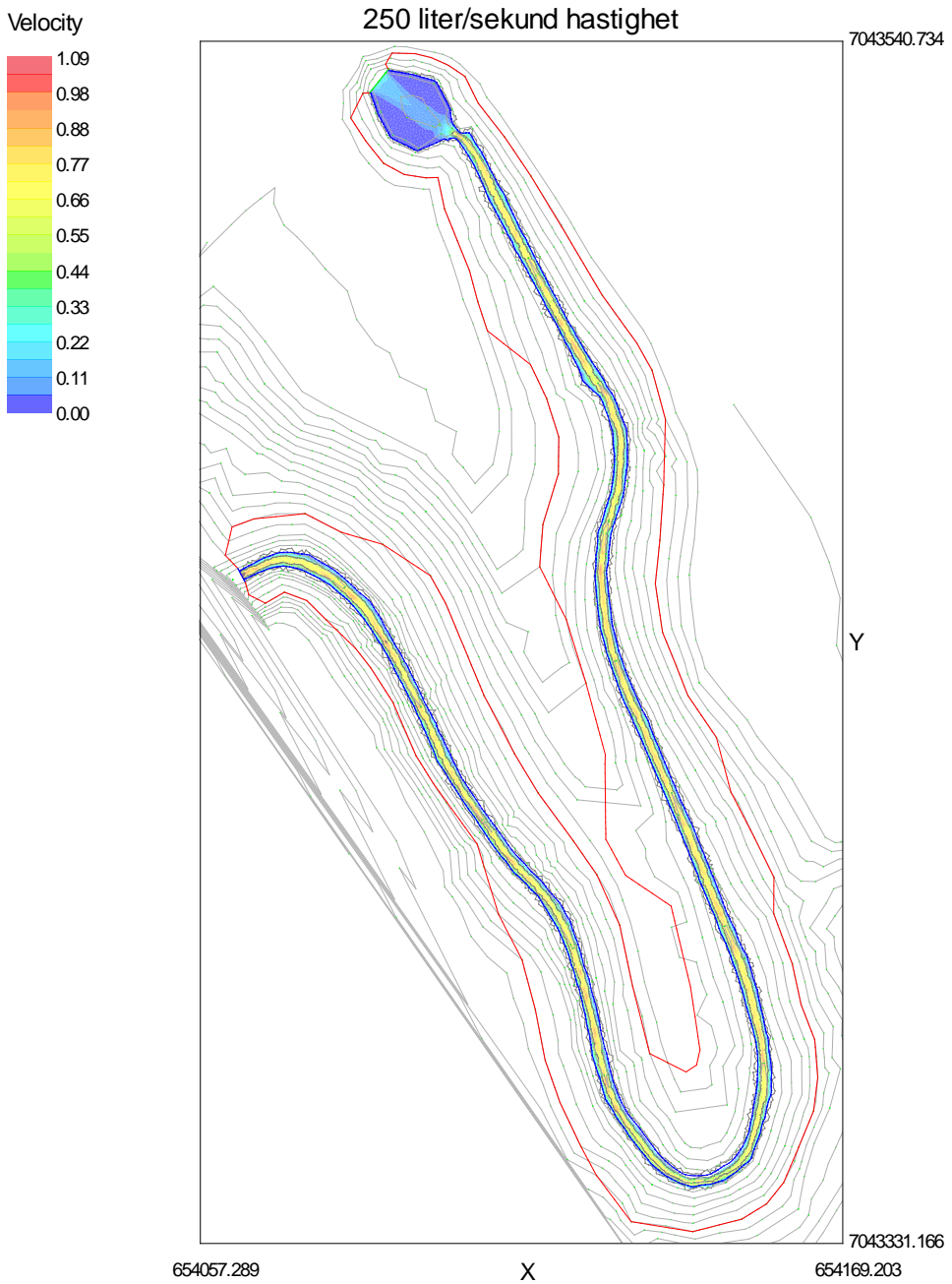
Figur 54. Höjdskillnad för höger sida, sett nedströms, mellan den modellerade och inmätta vattenlinjen.

## Appendix 4 – Resultat projekterad modell

Vattenflöde 250 liter/sekund

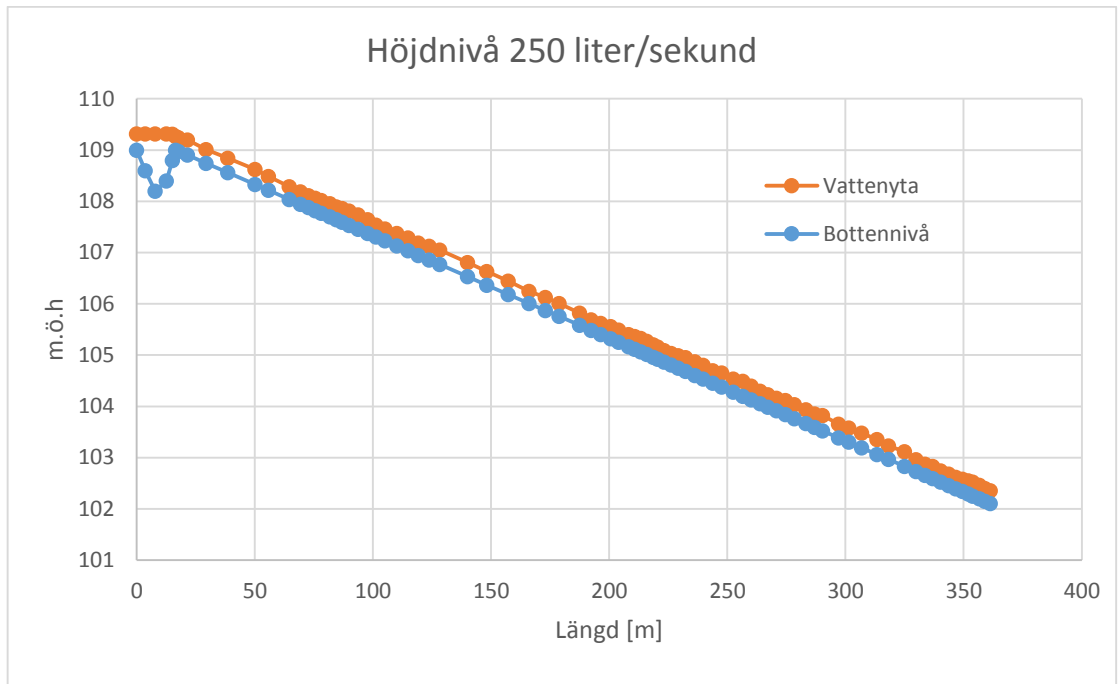


Figur 55. Simulerat vattendjup för det projekterade omlöpet. Vattenflöde 250 liter/sekund.

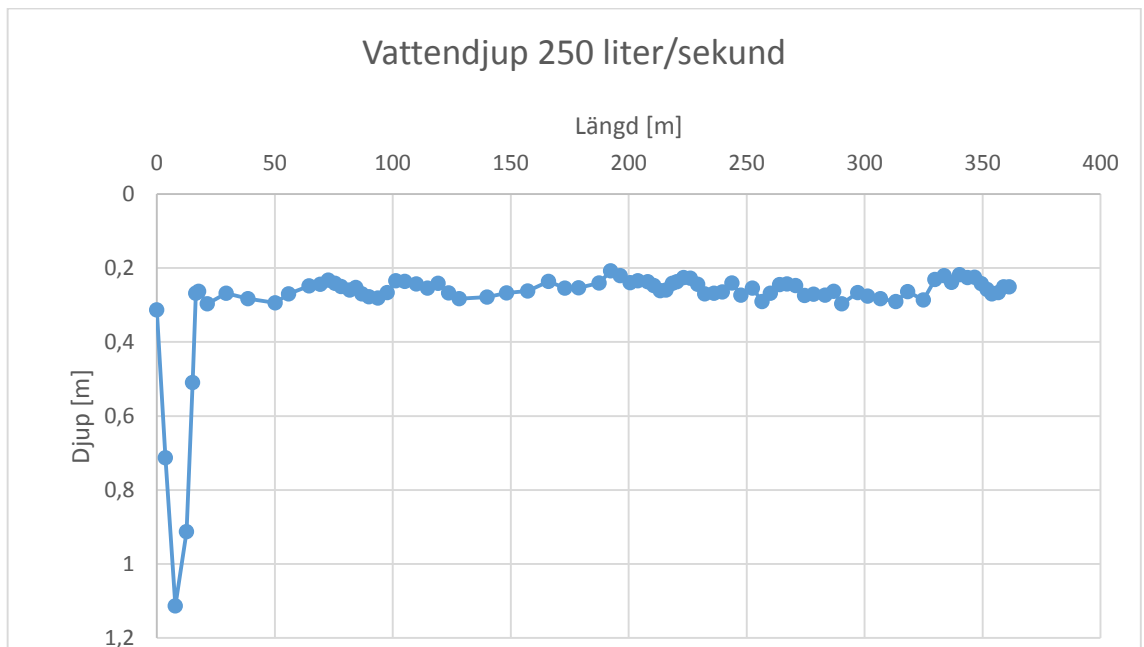


Figur 56. Simulerad vattenhastighet för det projekterade omlöpet. Vattenflöde 250 liter/sekund.



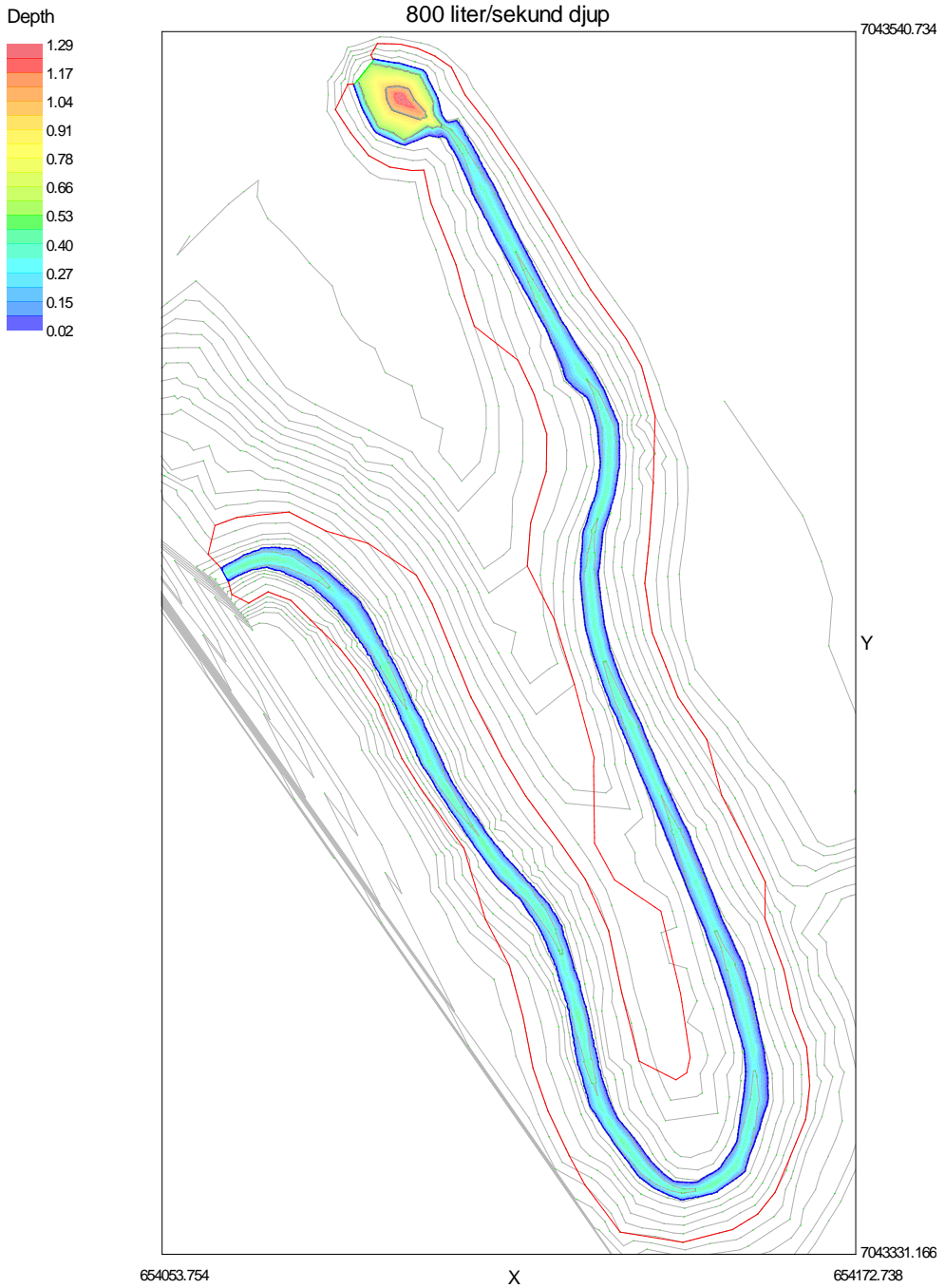


Figur 57. Tvärsnitt av bottennivå och vattennivå längs det projekterade omlöpets centerlinje. Vattenflöde 250 liter/sekund.

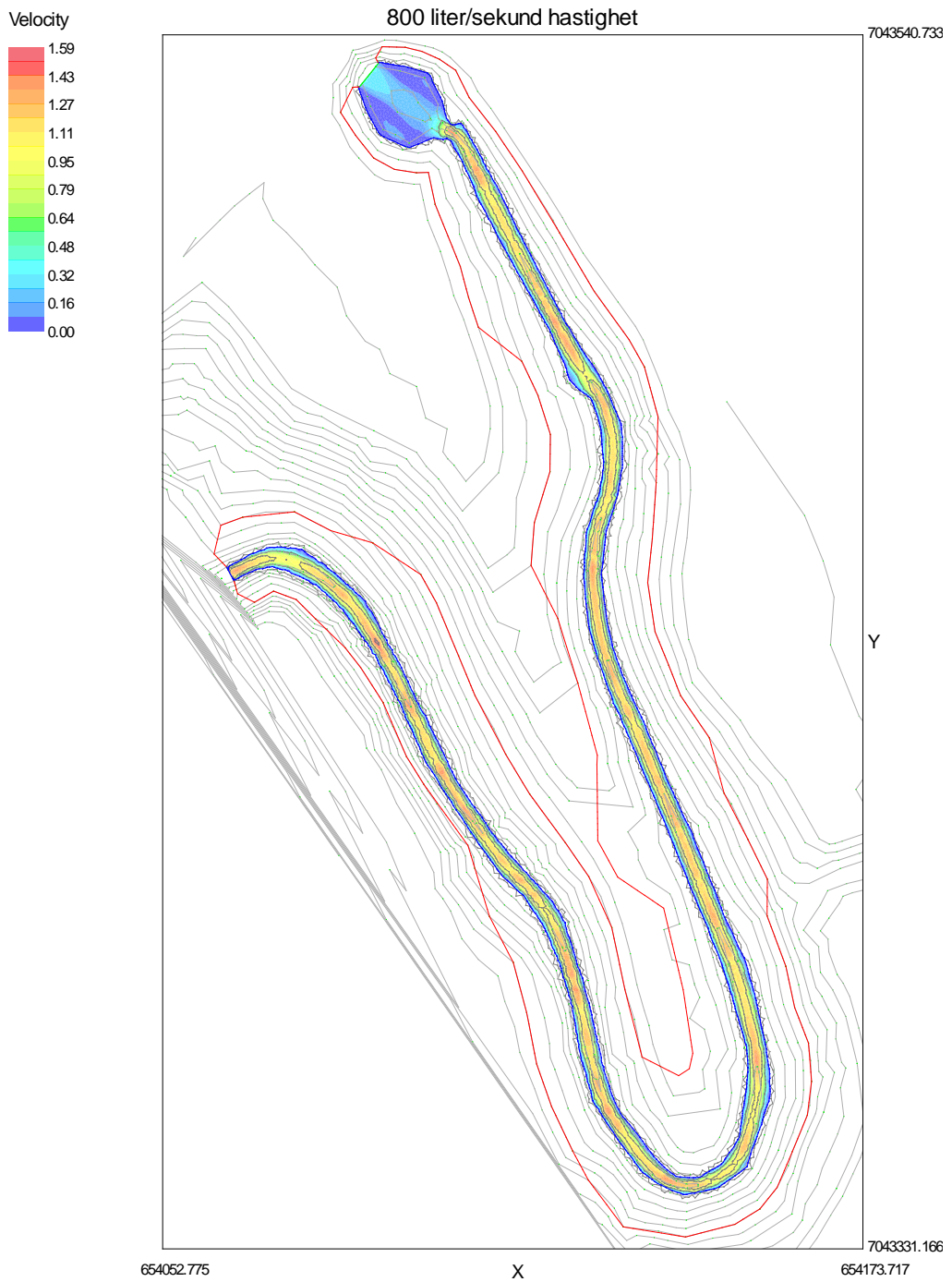


Figur 58. Tvärsnitt av vattendjupet längs det projekterade omlöpets centerlinje. Vattenflöde 250 liter/sekund.

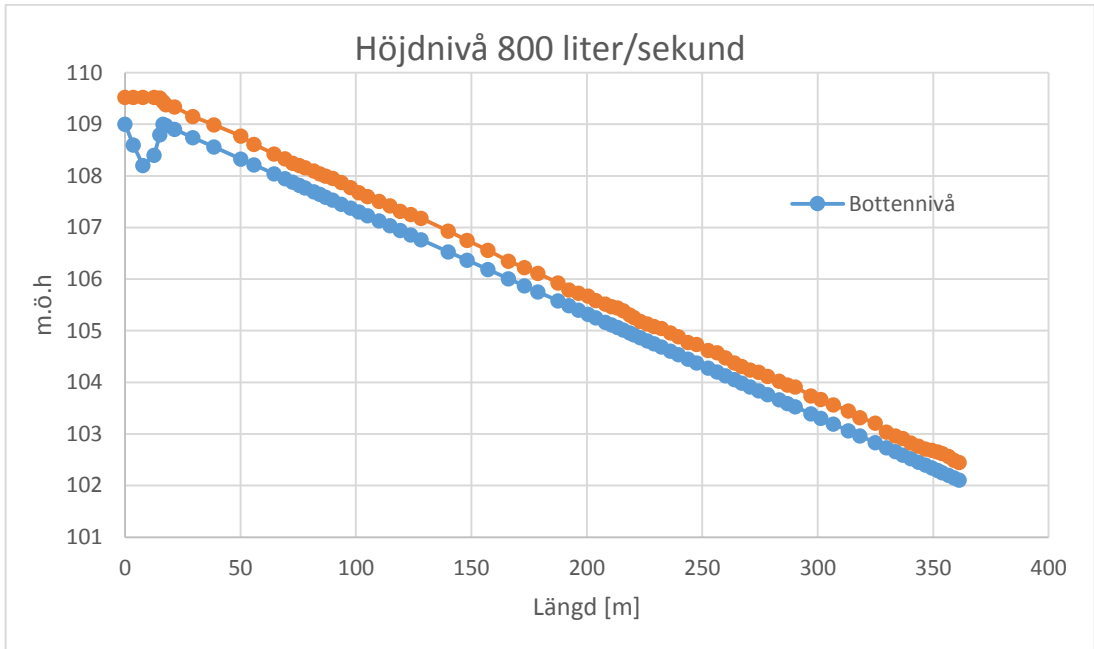
Vattenflöde 800 liter/sekund



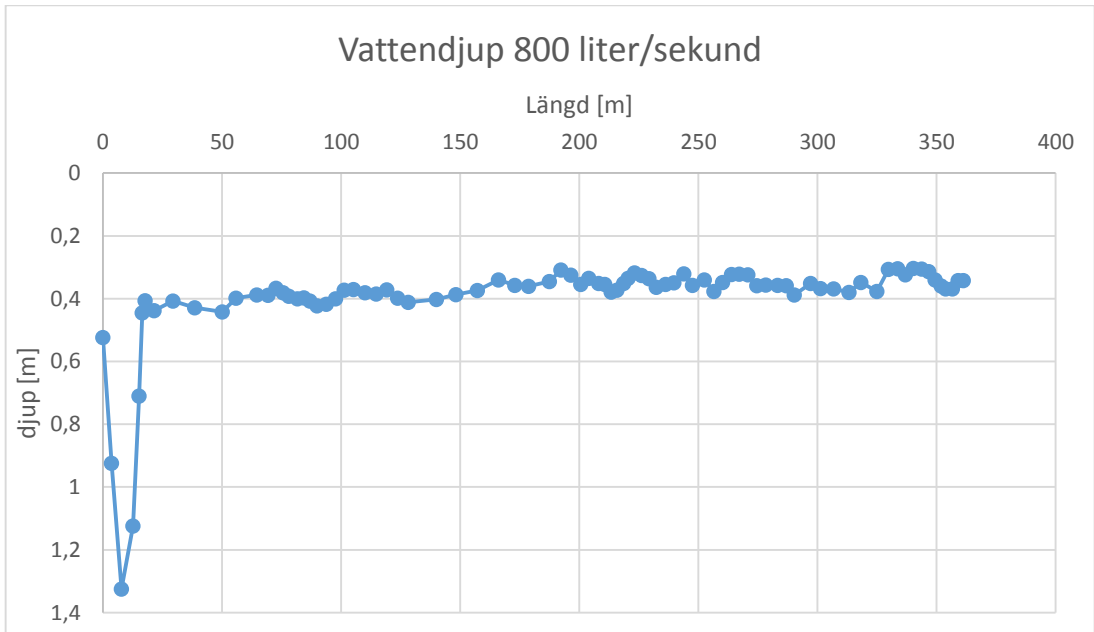
Figur 59. Simulerat vattendjup för det projekterade omlöpet. Vattenflöde 800 liter/sekund



Figur 60. Simulerad vattenhastighet för det projekterade omlöpet. Vattenflöde 800 liter/sekund.

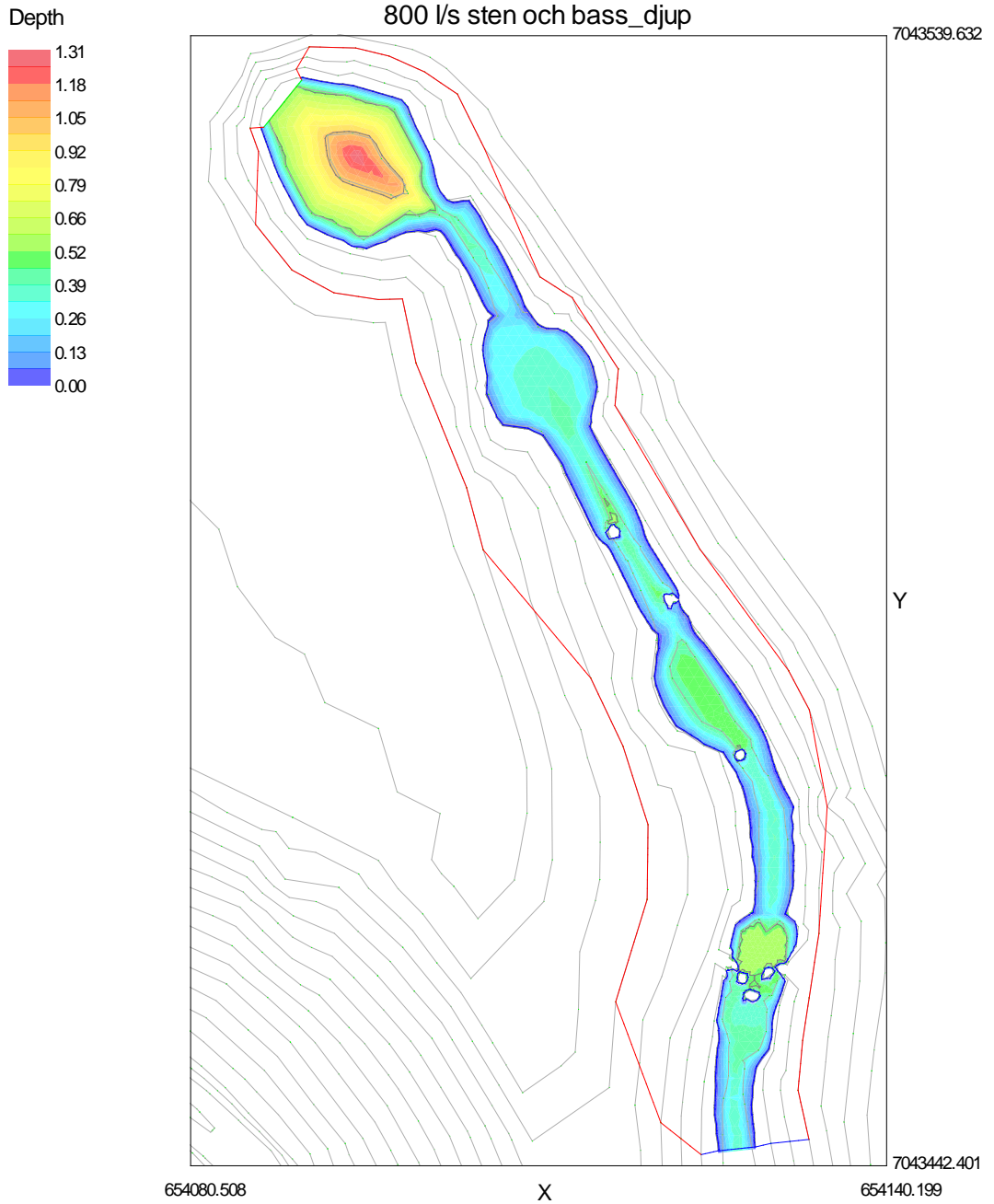


Figur 61. Tvärsnitt av bottennivå och vattennivå längs det projekterade omlöpets centerlinje. Vattenflöde 800 liter/sekund.

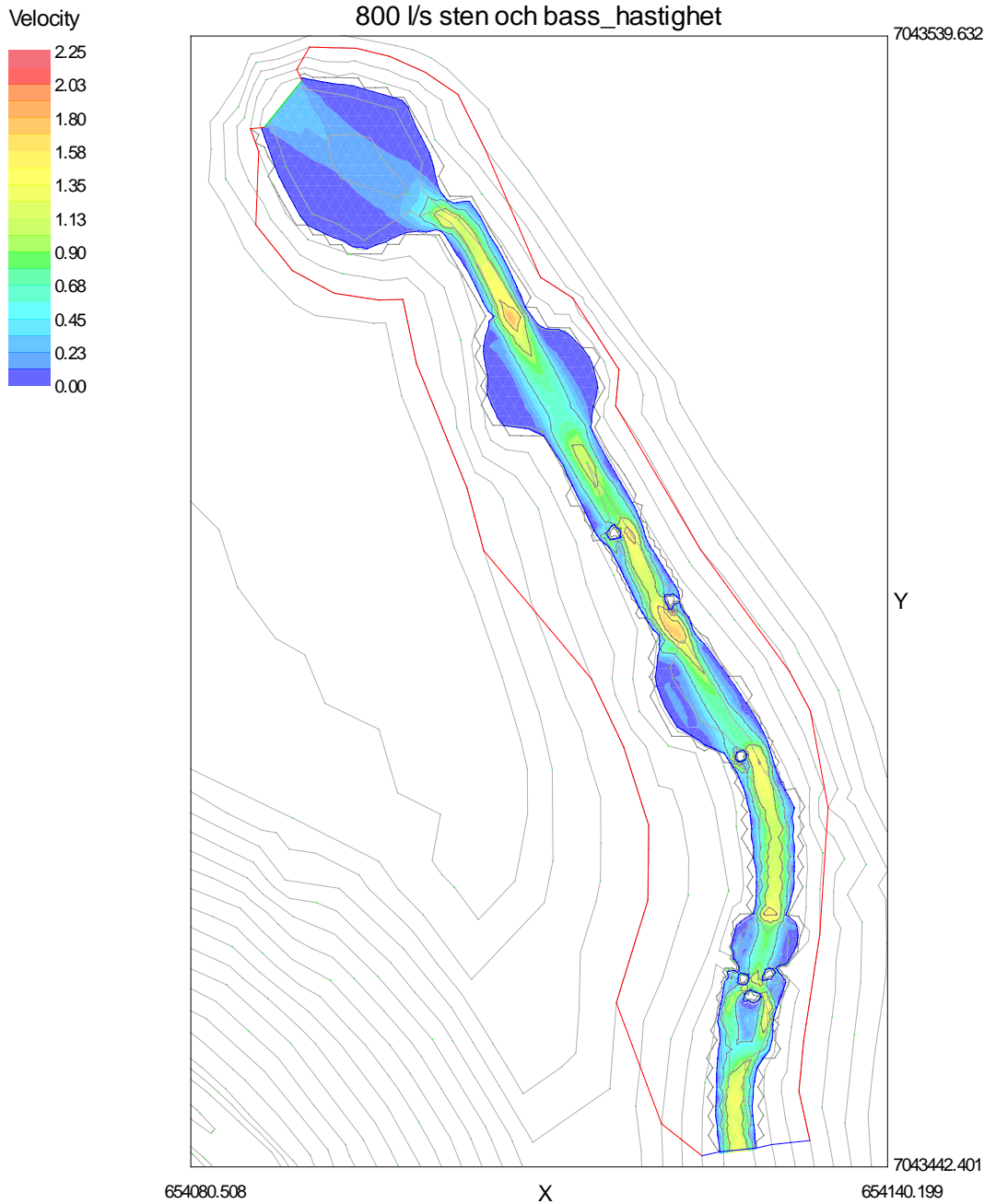


Figur 62. Tvärsnitt av bottennivå och vattennivå längs det projekterade omlöpets centerlinje. Vattenflöde 800 liter/sekund.

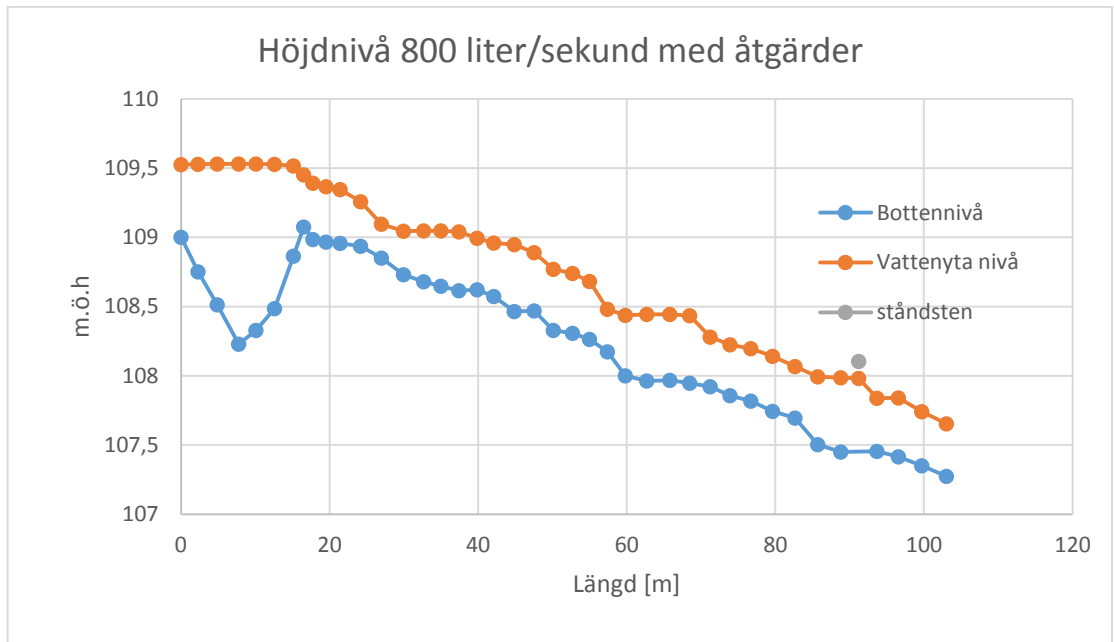
800 liter/sekund med inslag av stenar och bassänger



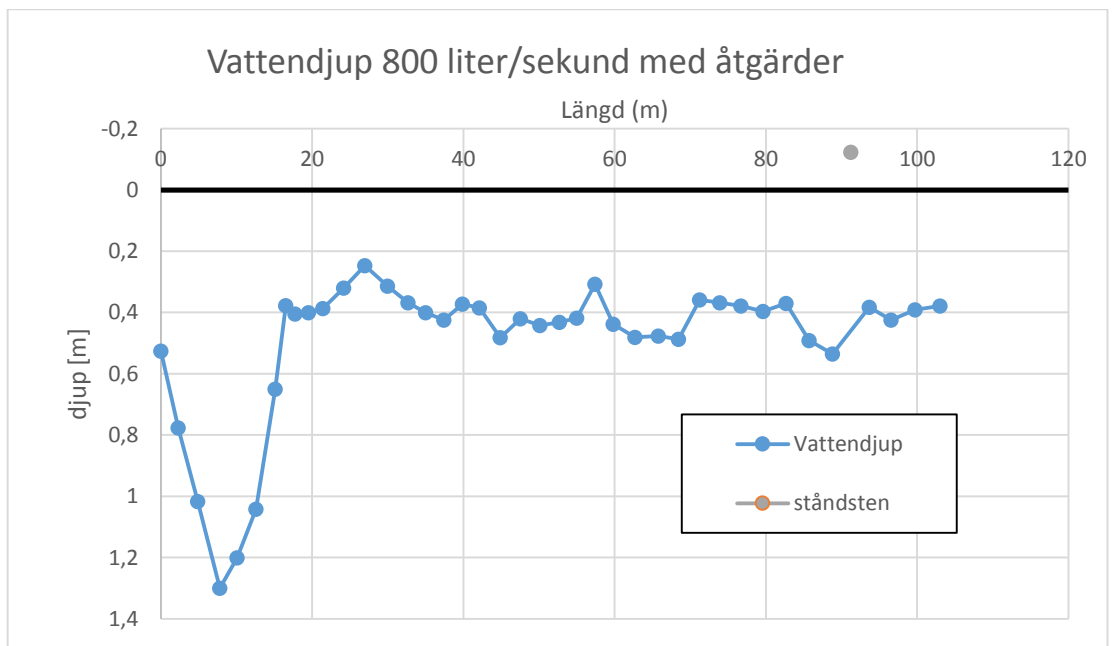
Figur 63. Simulerat vattendjup för den övre delen av det projekterade omlöpet med inslag av stenar och bassänger. Vattenflöde 800 liter/sekund.



Figur 64. Simulerad vattenhastighet för den övre delen av det projekterade omlöpet med inslag av stenar och bassänger. Vattenflöde 800 liter/sekund.



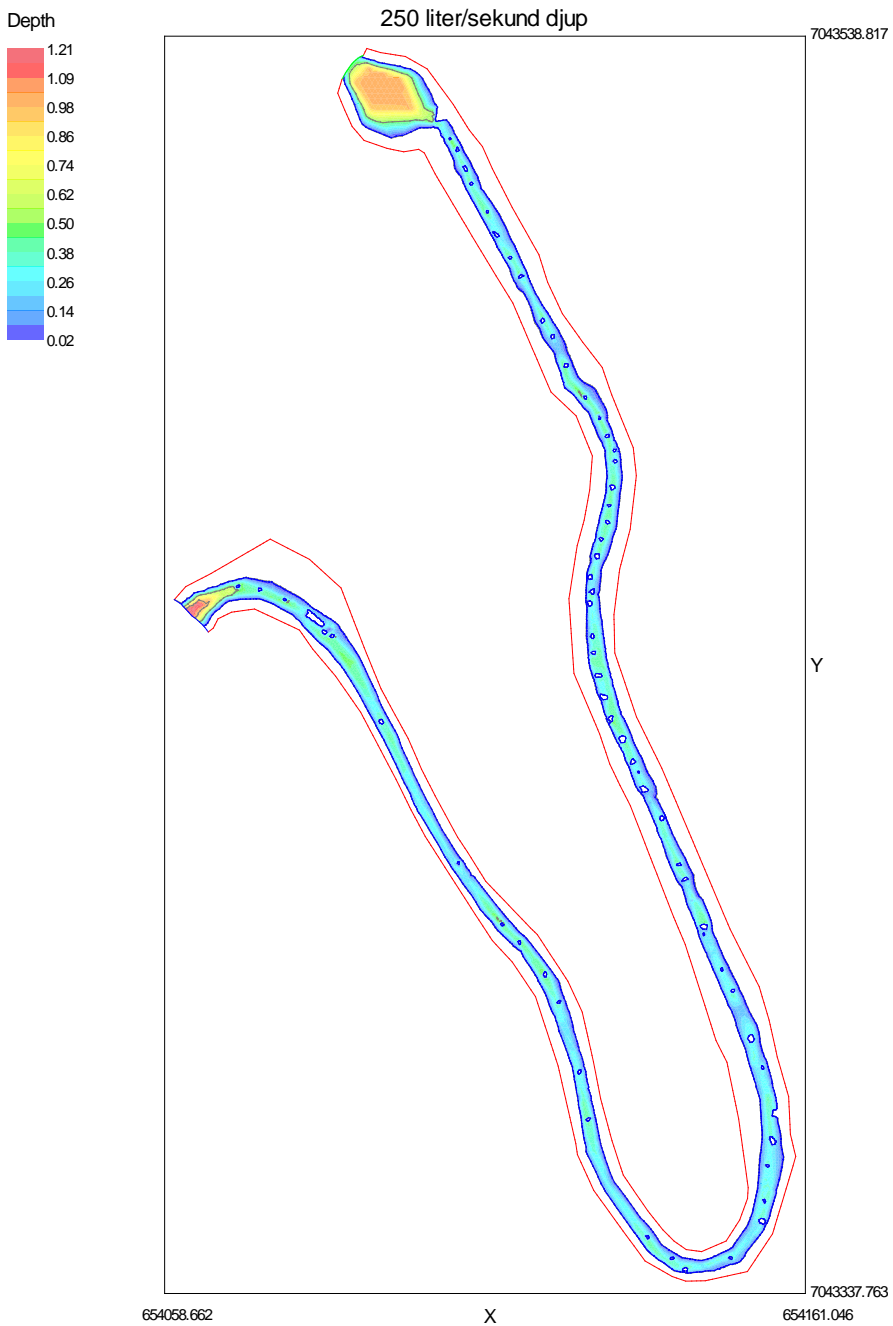
Figur 65. Tvärsnitt av bottenivå och vattennivå längs den övre delen av det projekterade omlöpets centerlinje med inslag av stenar och bassänger. Vattenflöde 800 liter/sekund.



Figur 66. Tvärsnitt av vattendjupet längs den övre delen av det projekterade omlöpets centerlinje med inslag av stenar och bassänger. Vattenflöde 800 liter/sekund.

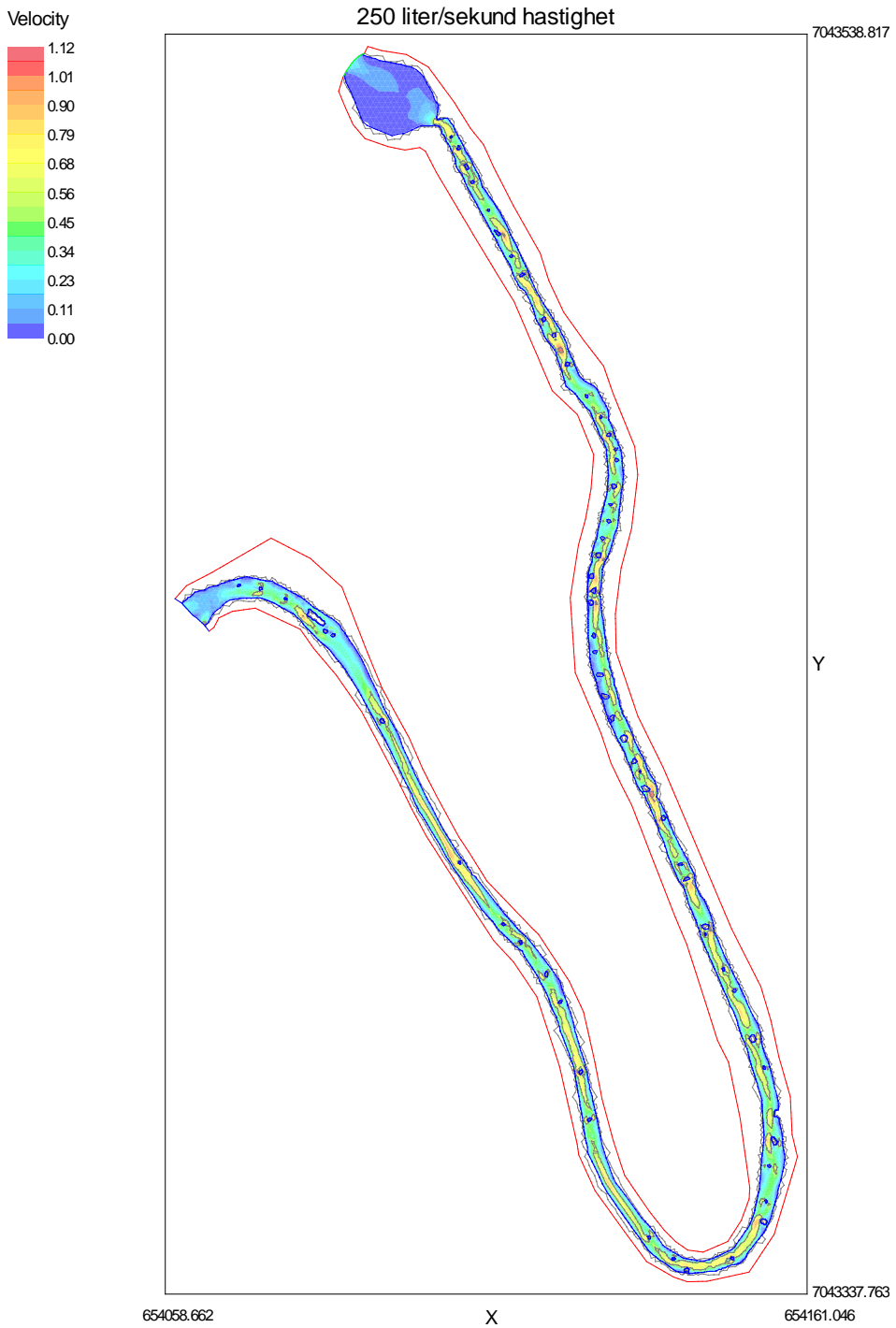
## Appendix 5– Resultat projekterad modell

Vattenflöde 250 liter/sekund

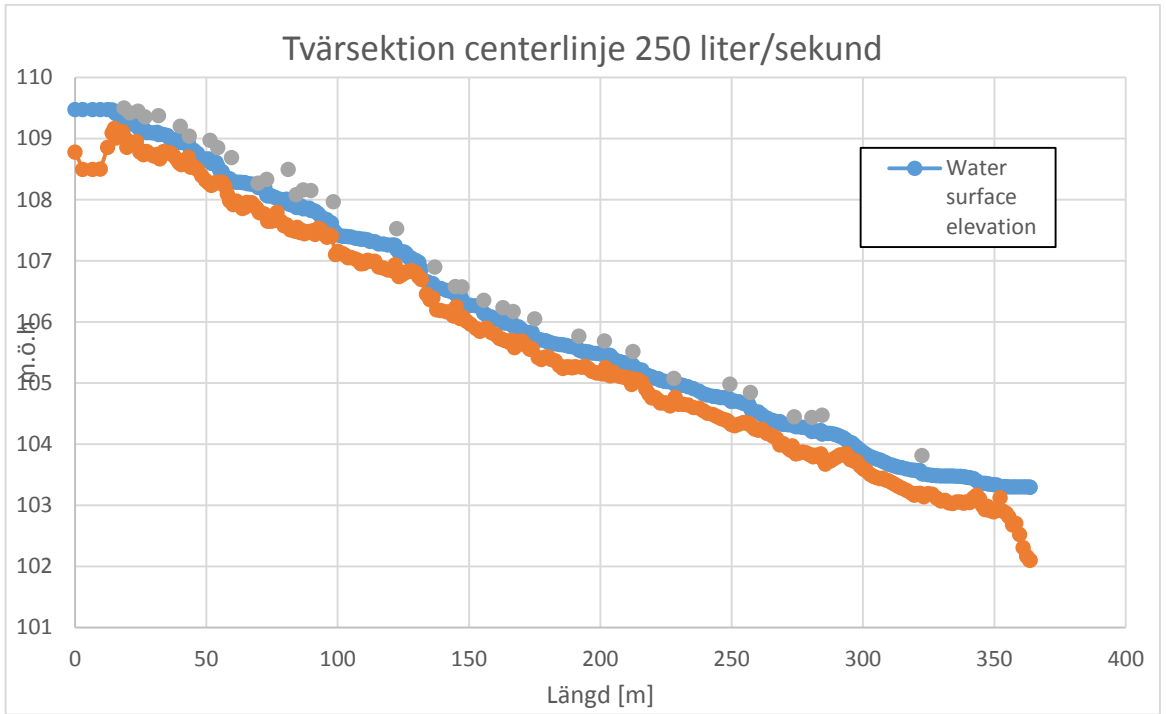


Figur 67. Simulerat vattendjup för det inmätta omlöpet. Vattenflöde 250 liter/sekund

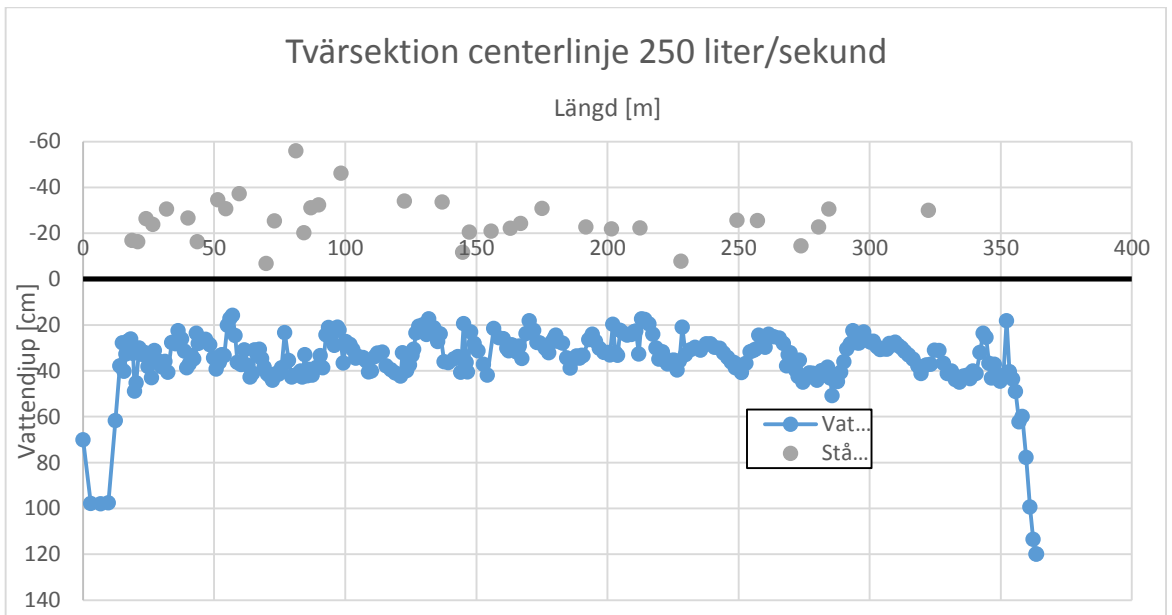




Figur 68. Simulerad vattenhastighet för det inmätta omlöpet. Vattenflöde 250 liter/sekund.

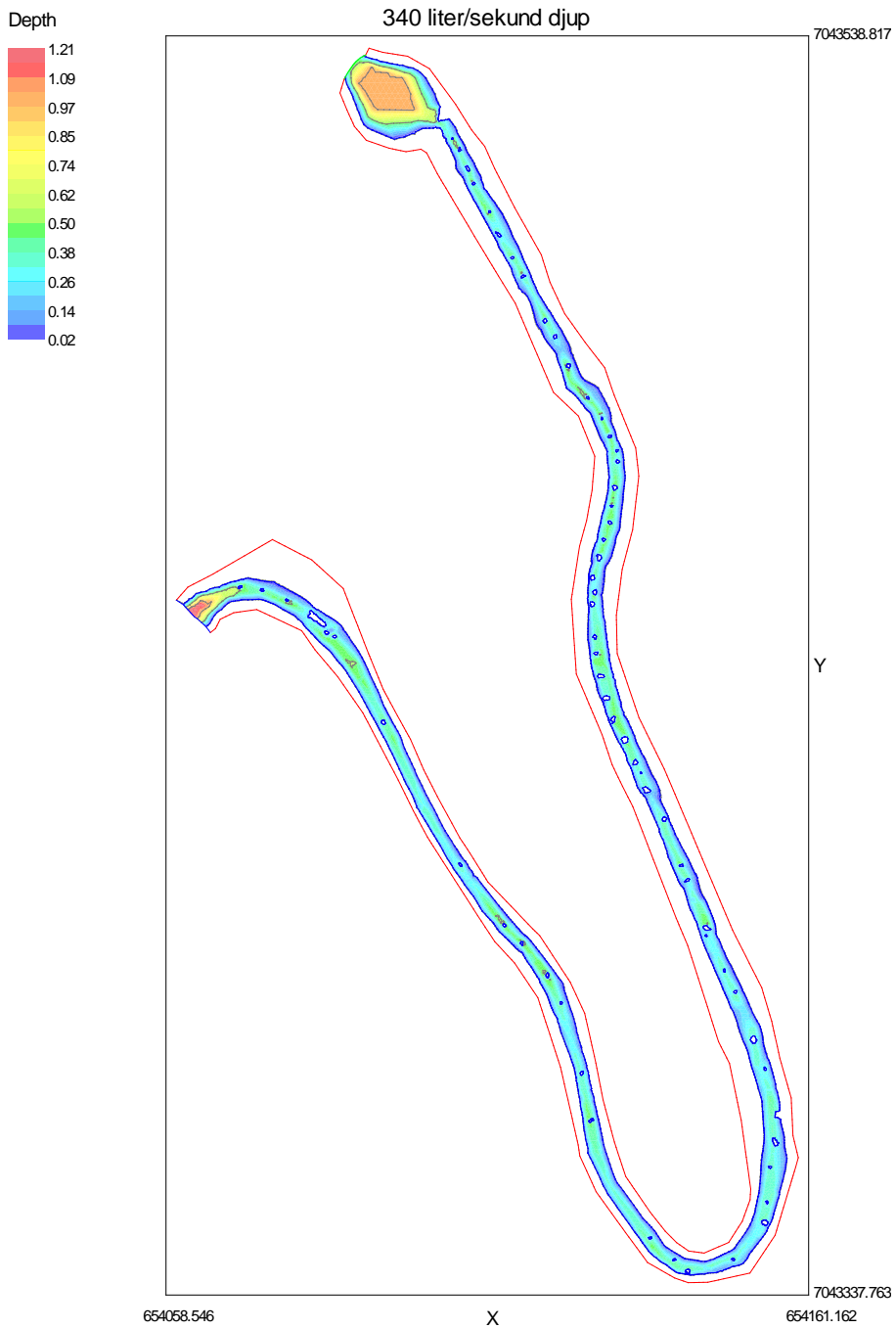


Figur 69. Tværsnitt av bottenivå og vattennivå langs det innmøtende omløpets centerlinje. Vattenfløde 250 liter/sekund.

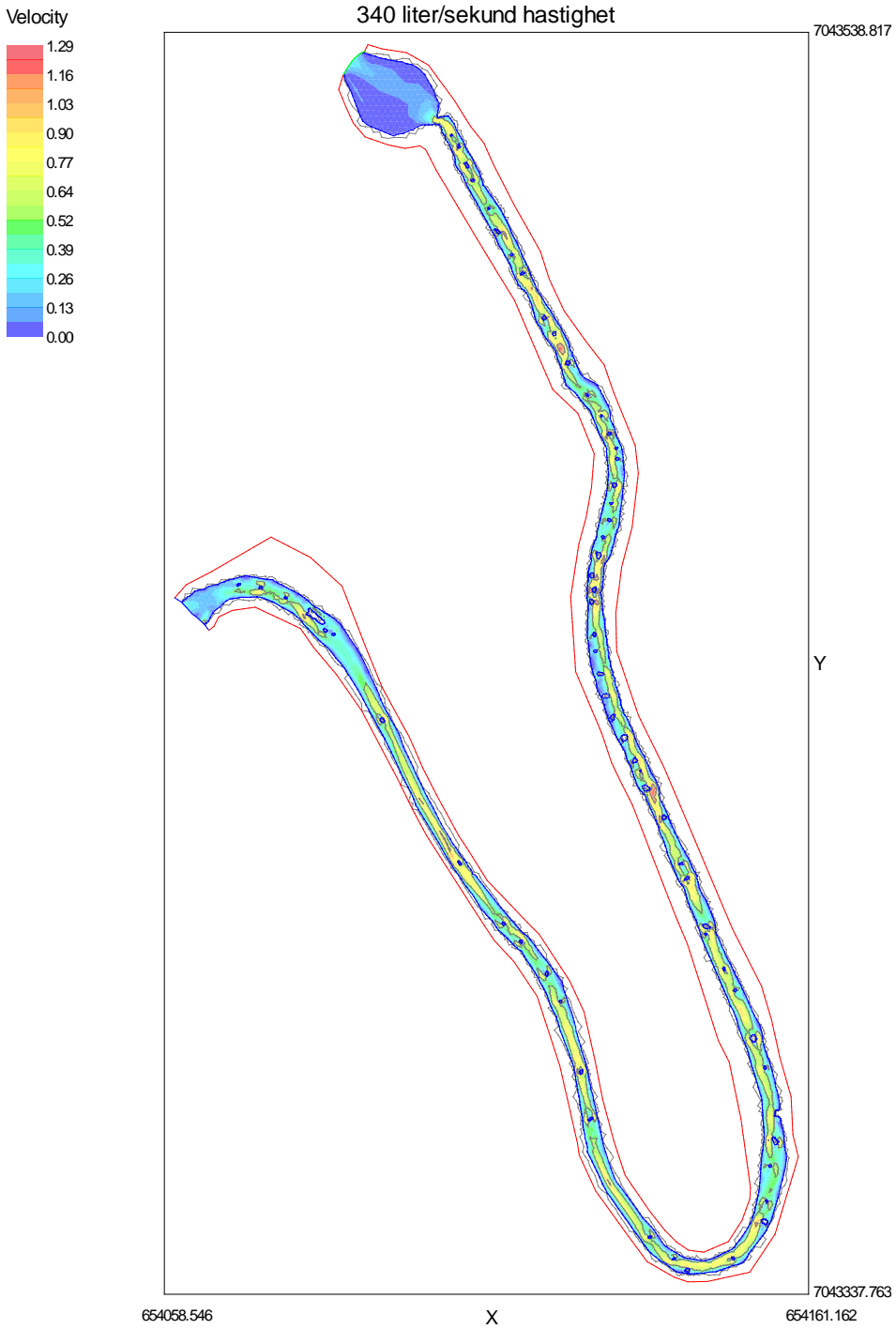


Figur 70. Tværsnitt av vattendjupet langs det innmøtende omløpets centerlinje. Vattenfløde 250 liter/sekund.

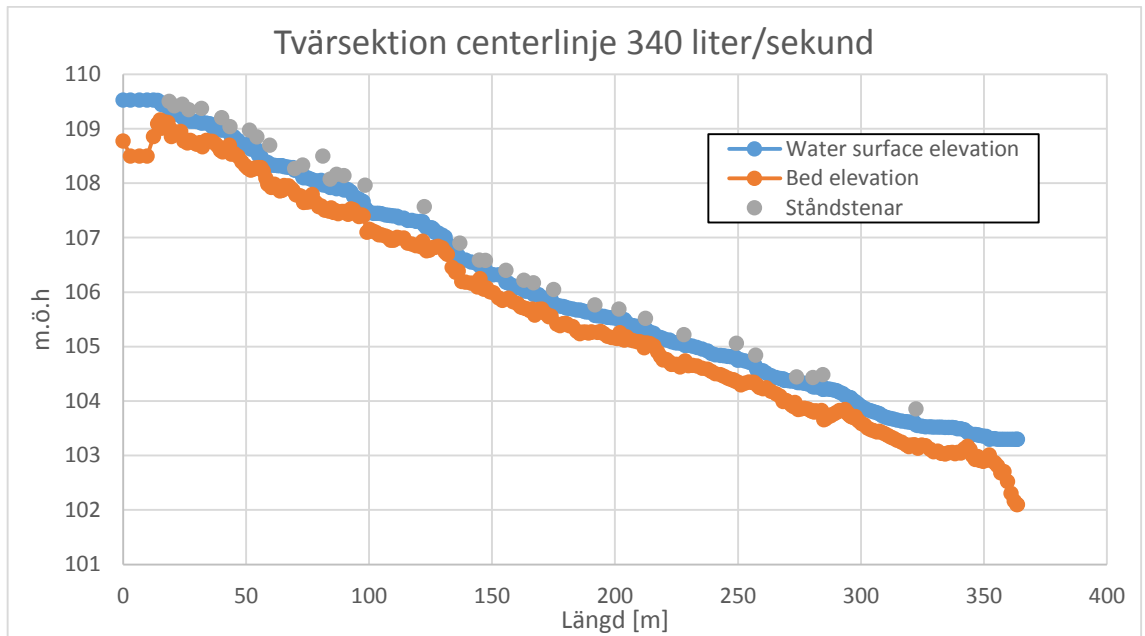
Vattenflöde 340 liter/sekund



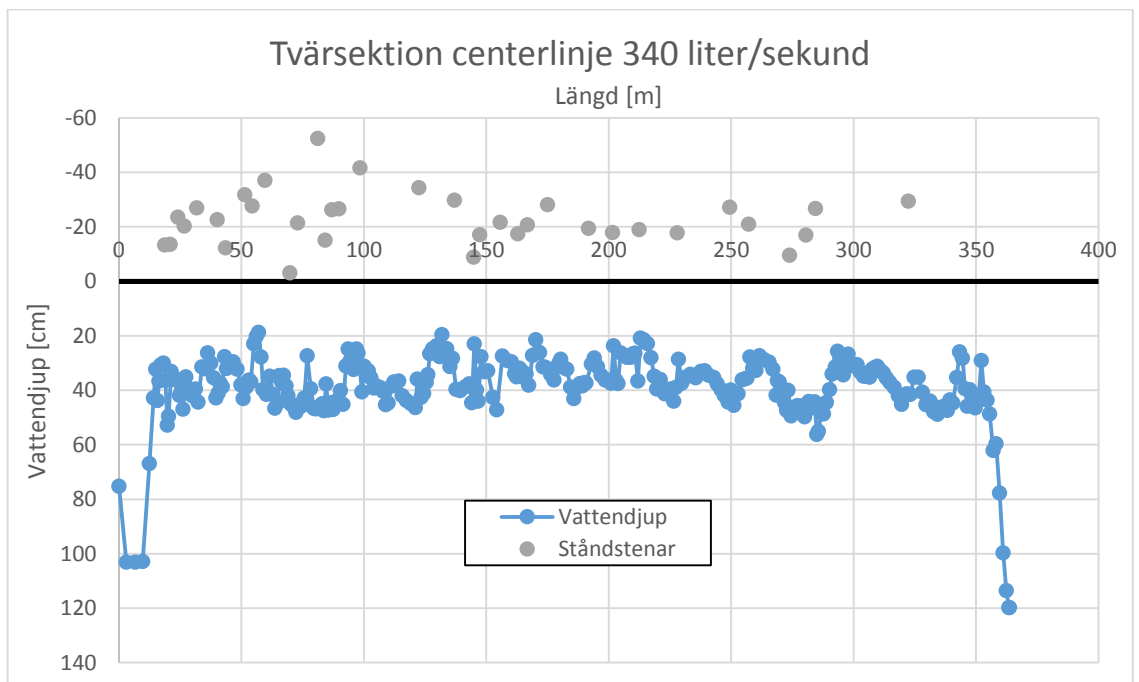
Figur 71. Simulerat vattendjup för det inmätta omlöpet. Vattenflöde 340 liter/sekund



Figur 72. Simulerad vattenhastighet för det inmätta omlöpet. Vattenflöde 340 liter/sekund.

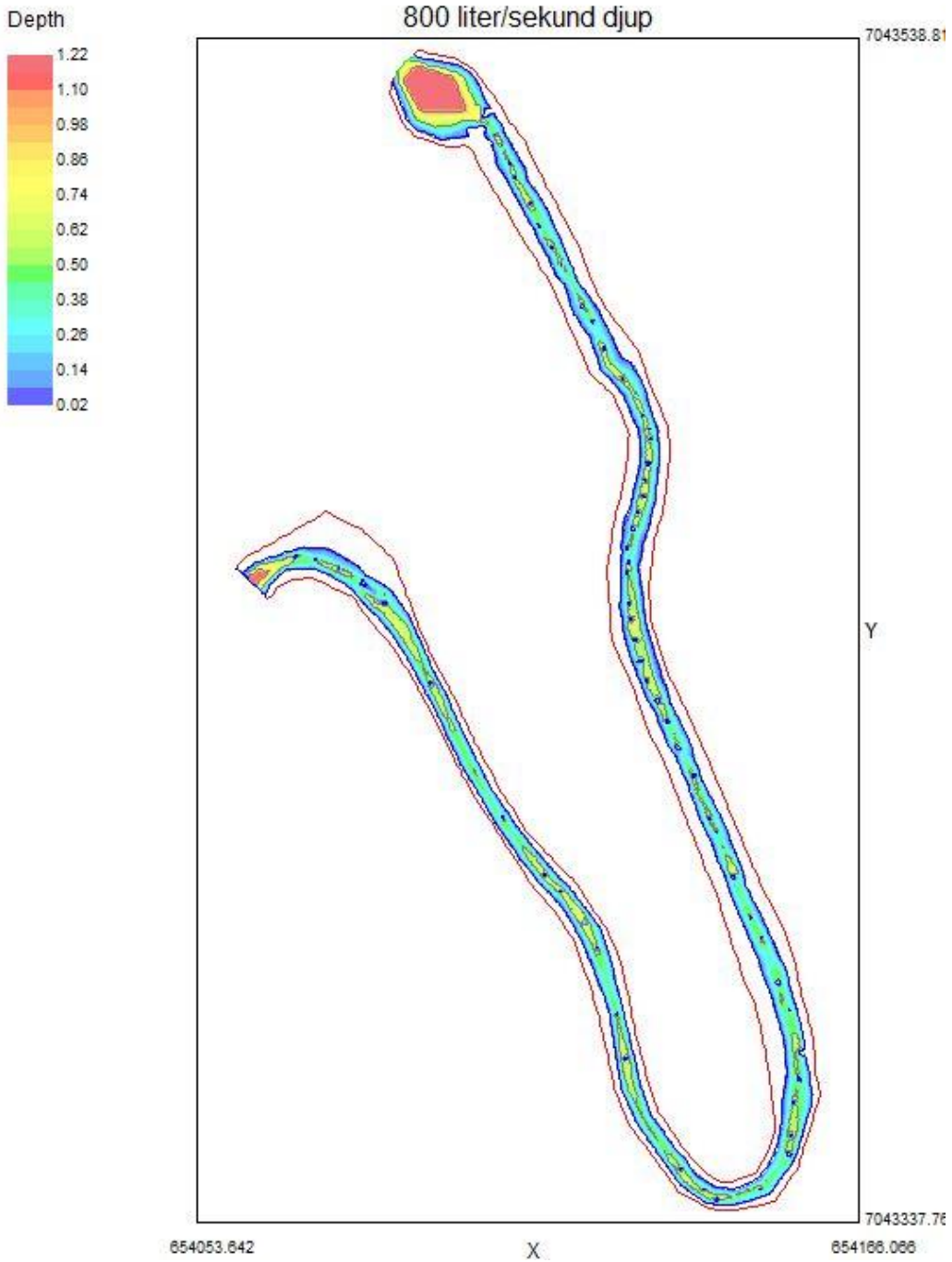


Figur 73. Tvärsektion av bottennivå och vattennivå längs det inmätta omlöpets centerlinje. Vattenflöde 340 liter/sekund.

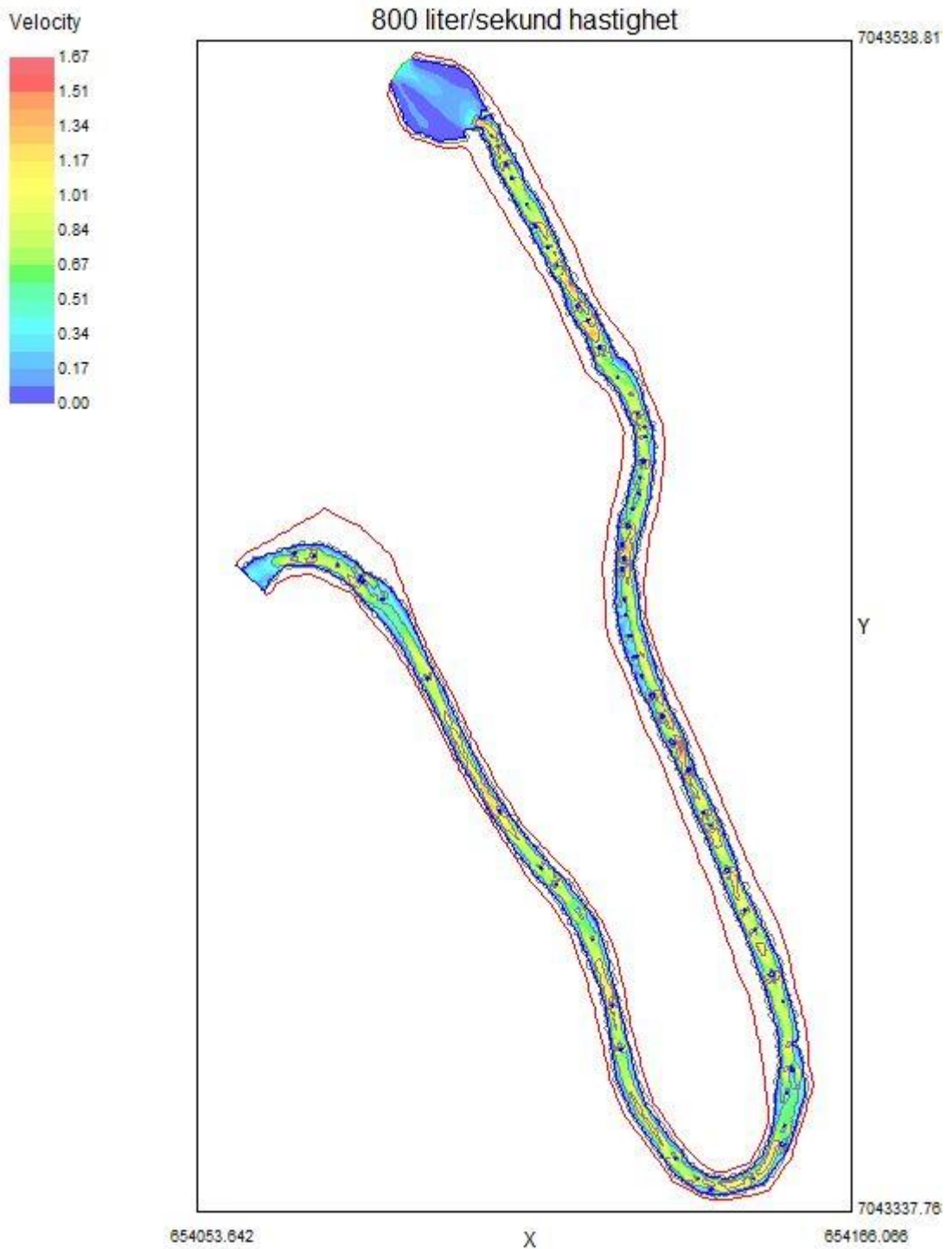


Figur 74. Tvärsektion av vattendjupet längs det inmätta omlöpets centerlinje. Vattenflöde 340 liter/sekund.

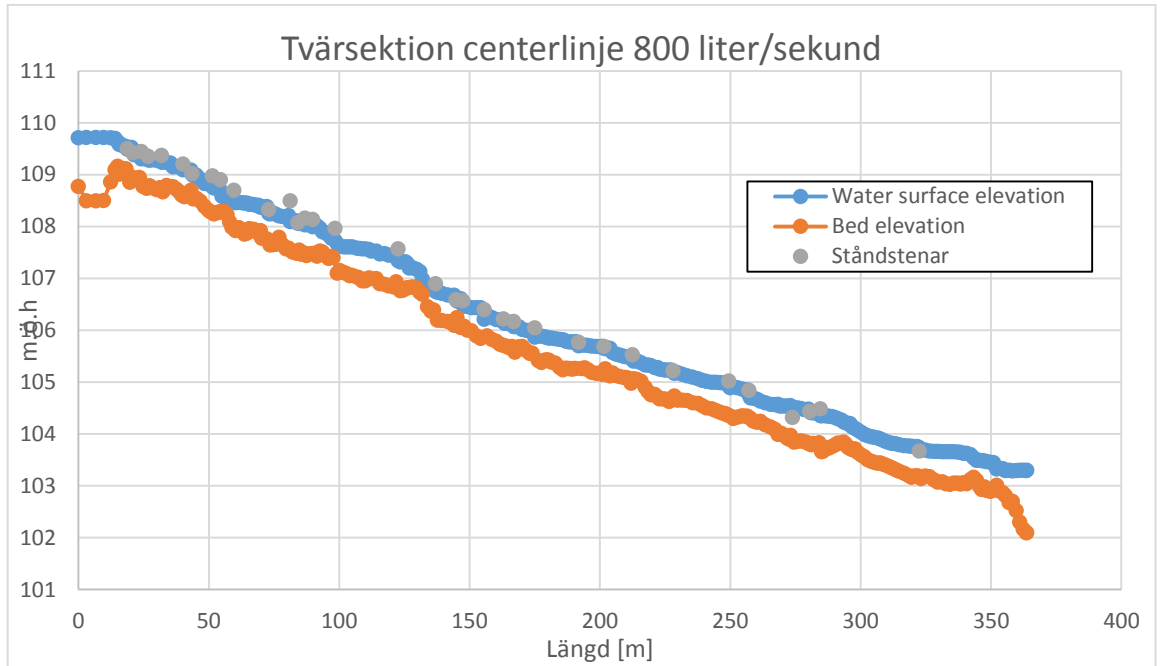
Vattenflöde 800 liter/sekund



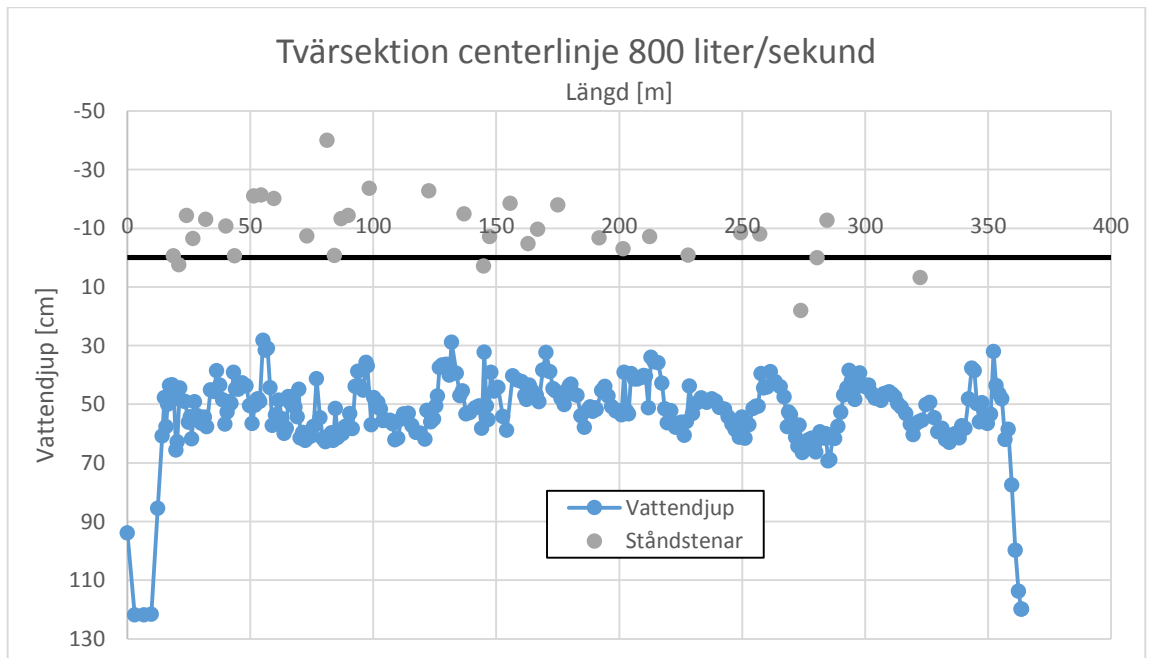
Figur 75. Simulerat vattendjup för det inmätta omlöpet. Vattenflöde 800 liter/sekund



Figur 76. Simulerad vattenhastighet för det inmätta omlöpet. Vattenflöde 800 liter/sekund.



Figur 77. Tværsjektion av bottennivå och vattennivå längs det inmätta omløpets centerlinje. Vattenflöde 800 liter/sekund.



Figur 78. Tværsjektion av vattendjupet längs det inmätta omløpets centerlinje. Vattenflöde 800 liter/sekund.



## Appendix 6 - Tabell över förbättringsåtgärder vid Anundsjö kraftverk

Teknisk komponent	Dagens design	Projekterad design	Rekommendation från tidigare studier	Åtgärd	Kommentar
Omlöp					
- vilobassänger	Saknas	Saknas	Var 75-100:e meter	Anlägg 3 vilobassänger	-
- reglerbar lucka	Felaktigt inställd	-	-	Kalibrera luckan	Luckan släpper ett större flöde än vad som anges på manöverpanelen.
- skydd från vegetation	Saknas	Saknas	Lugna partier ska ha skyddande vegetation	Spänn upp militärmat eller liknande. Plantera skyddande vegetation.	Innan träd och buskar har vuxit till sig ska militärmat spännas upp som ett provisoriskt skydd.
- erosionskydd	Saknas	Rekommenderas i befintligt kontrollprogram	Sedimentavlagringar påverkar omlöpets funktion negativt	Plantera snabbväxande gräs och växter i omlöpets kanter	Strandkanterna måste erosionsssäkras genom att låta växter binda jorden.
- slitsränna	Saknar lutning. Sista slitsar har för stor höjdskillnad	Horisontell, utan bottenlutning	Bottenlutning 5-15%. Höjdnivå mellan slitsar max 15 cm.	Bygg om slitsrännan	Slitsrännan är felprojekterad och felkonstruerad och behöver åtgärdas. Beställaren ska inte betala för renoveringen.
Smoltrännan					
- belysning av intag	Saknas	Saknas	Belysning av intaget ökar nedvandringen genom smoltrännan nattetid.	Belys intaget nattetid	-
- fingaller framför turbin	1.5 djup finmaskig läns framför turbin	Saknas	Fingaller framför turbinintag som leder smolten till smoltintag. Galleravstånd 15 mm, platta järn.	Utvärdera länsens funktion. Om den ej är tillfredsställande, installera fingaller.	-