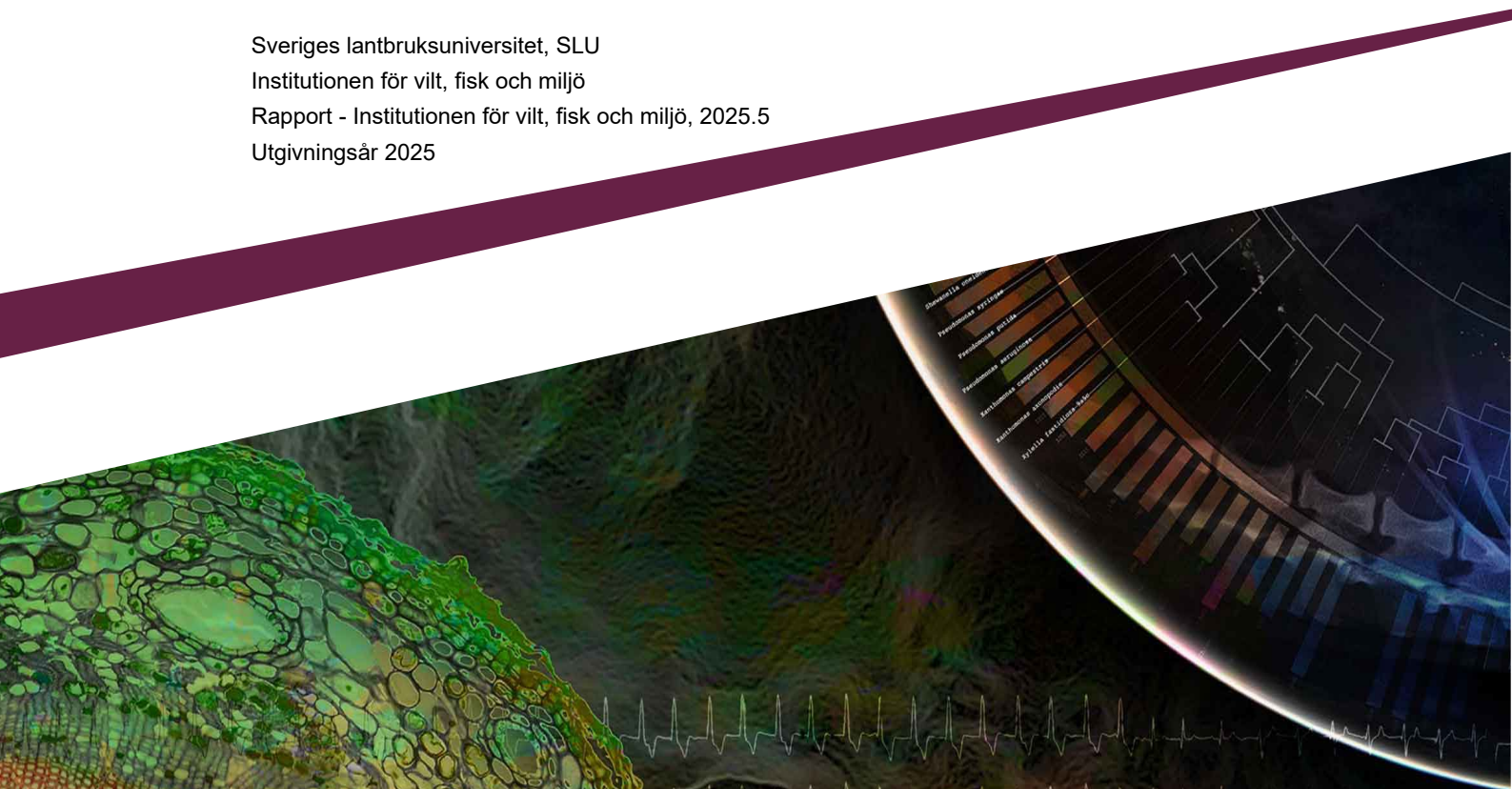




Vandringsframgång för odlad laxsmolt vid olika passager i nedre Umeälven

Kjell Leonardsson

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för vilt, fisk och miljö
Rapport - Institutionen för vilt, fisk och miljö, 2025.5
Utgivningsår 2025



Vandringsframgång för odlad laxsmolt vid olika passager i nedre Umeälven

Migration success of hatchery reared Atlantic salmon smolt at different passages in the lower river Umeälven

Kjell Leonardsson, <https://orcid.org/0000-0003-0531-4714>, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vilt, fisk och miljö

Utgivare:	Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vilt, fisk och miljö
Utgivningsår:	2025
Utgivningsort:	Umeå
Omslagsbild:	
Serietitel:	Rapport (Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vilt, fisk och miljö)
Delnummer i serien:	2025.5
Nyckelord:	Lax, smolt, passageförluster, nedströmsvandring, passagelösningar, Umeälven, Stornorrfors, fisktrappa



Sammanfattning

I samband med omprövningarna av den svenska vattenkraften är konnektiviteten för fisk ofta i fokus, både vad gäller möjlighet till uppströmsvandring och nedströmsvandring. Vattenkraftverken utgör definitiva vandringshinder för uppströmsvandring där det saknas fiskpassager. För att möjliggöra uppströmsvandring av fisk krävs därför någon form av fysisk konstruktion. Däremot kan många fiskarter passera nedströms utan tekniska passagelösningar, antingen via turbinerna eller via spill från utskoven. Ofta förespråkas dock tekniska lösningar som leder de nedströmsvandrande fiskarna till en fysisk nedströmspassage, för att hindra dem från att passera via turbinerna. En viktig fråga att få svar på vid val av lösning där nedströmsvandring krävs är vilket alternativ som ger den högsta passageeffektiviteten för fiskarna i form av långsiktig överlevnad.

I nedre Umeälven måste lax- och öring-smolt passera Stornorrfors kraftverk för att nå havet. I Norrfors finns en avledare för att leda smolten via fisktrappan till den gamla älvfåran som mynnar i huvudfåran nedströms kraftverket. Smolten har även möjlighet att passera via turbinerna, eller via spill vid de tillfällen det spills från utskoven. Nuvarande smoltavledning har knappt 5 % effektivitet, vilket innebär att frågan om att förbättra avledningseffektiviteten är aktuell. Men, även om man skulle lyckas uppnå 100 % avledningseffektivitet så visar tidigare studier att förlusterna av smolt ändå kommer att bli betydande innan de når huvudfåran nedströms kraftverket. Enligt Monténs studie 1961–1967 var förlusterna av smolt större via den gamla älvfåran än via kraftverksturbinerna.

I den här rapporten redovisas en ny undersökning som påminner om den Montén gjorde på 60-talet. Den nya undersökningen genomfördes av Vattenfall i samråd med forskare från SLU med ca 40 000 PIT-tag märkta odlade laxsmolt som släpptes i grupper om ca. 5 000 individer fördelat på fyra utsättningslokaler under 2019 och 2020. Utsättningarna gjordes i intaget till turbinerna i Stornorrfors kraftverk, i utloppskanalen nedströms kraftverket, överst i fisktrappan, samt strax nedströms fisktrappan i den gamla älvfåran. Vandringsframgången beräknades utifrån andelen av de märkta individerna som återvände från havet för lek 1–3 år efter utsättningarna. De återvändande könsmogna laxarna registrerades automatiskt i fisktrappan. Resultaten blev liknande de Montén fick, med lägre passageförluster för smolten som passerade turbinerna jämfört med de som passerade den gamla älvfåran. Passageförlusterna för de som passerade turbinerna var ca. 8,5 % medan förlusterna från övre delen av fisktrappan via gamla älvfåran till utloppskanalen uppgick till ca. 34–42 %. Förlusterna i fisktrappan skattades till ca. 10 %.

Med tanke på att det var betydligt större passageförluster för smolten via den gamla älvfåran jämfört med via turbinerna framstår inte satsningar på att förbättra avledningen av smolt till fisktrappan något som skulle gynna Vindelälvsaxen. Den ledarm som finns på plats i Norrfors för avledning av smolt behöver dock finnas kvar eftersom den fyller en viktig funktion då den styr in tillräckligt med smolt i fisktrappan för att ge värdefull information till DCF. De vilda smolt som märks årligen i fisktrappan ger information om laxarnas havsöverlevnad smoltproduktionen i Vindelälven.

Nyckelord: Lax, smolt, passageförluster, nedströmsvandring, passagelösningar, Umeälven, Stornorrfors, fisktrappa

Abstract

In connection with the reassessment of the Swedish hydropower, fish connectivity is often a focus, both in terms of upstream and downstream migration. Hydropower plants constitute definitive migration barriers where there are no fish passages for upstream migration. To enable upstream migration of fish, some form of physical construction is therefore required. On the other hand, many fish species can pass downstream without technical passage solutions, either via the turbines or via spillways. However, technical solutions that lead downstream migrating fish to a physical downstream passage are often advocated to prevent them from passing through the turbines. An important question to answer when choosing a solution where downstream migration is required is which alternative provides the highest passage efficiency for the fish in terms of long-term survival.

In the lower river Umeälven, Atlantic salmon and sea run Brown trout smolts must pass the Stornorrfors power plant to reach the sea. There is a diversion device to guide the smolt via the fish ladder in Norrfors to the old river channel that flows into the main channel downstream of the power plant. The smolt also have the option of passing through the turbines or via spillways when there is spill from the spillways. The current smolt diversion system has an efficiency of less than 5%, which means that improving diversion efficiency is a pressing issue. However, even if 100% diversion efficiency were achieved, previous studies show that smolt losses would still be significant before they reach the main channel downstream the hydropower station. According to Montén's study from 1961–1967, smolt losses were greater via the old river channel than via the power plant turbines. This report presents a new study reminiscent of the one conducted by Montén in the 1960s.

The new study was conducted by Vattenfall in consultation with researchers from SLU using c. 40,000 PIT-tagged farmed salmon smolt that were released in groups of approximately 5,000 individuals at four release sites in 2019 and 2020. The releases were made at the intake to the Stornorrfors power plant, in the outlet channel downstream of the power plant, at the top of the fish ladder, and just downstream of the fish ladder in the old river channel. Migration success was estimates from the proportion of tagged individuals that returned from the sea to spawn 1–3 years after release. The returning sexually mature salmon were automatically registered in the fish ladder. The results were similar to those obtained by Montén, with lower passage losses for smolts that passed through the turbines compared to those that passed through the old river channel. Passage losses for those passing through the turbines were approximately 8.5%, while losses from the upper part of the fish ladder via the old river channel to the outlet channel amounted to approximately 34–42%. Losses in the fish ladder were estimated at approximately 10%.

Given that there were significantly greater passage losses for smolt via the old river channel compared to via the turbines, efforts to improve the diversion of smolt to the fish ladder do not appear to be beneficial to the Atlantic salmon stock in Vindelälven. The existing guidance device for diversion of wild smolt in Norrfors should however remain as it fulfills an important function by directing enough smolt into the fish ladder to provide valuable information to DCF. The wild smolt that are tagged annually in the fish ladder provide information about sea survival of the salmon and of the smolt production of salmon in the river Vindelälven.

Innehållsförteckning

Keywords: Atlantic salmon, smolt, passage efficiency, downstream migration, passage solutions, Umeälven, Stornorrfors, fish ladder

Tabellförteckning	6
Figurförteckning.....	7
Förkortningar.....	8
1. Inledning	9
2. Material och metoder.....	11
2.1 Försöksuppställning	11
2.1.1 Den odlade smolten.....	11
2.1.2 Utsättningsområden.....	14
2.1.3 Registrering av återvändande märkt lax.....	14
2.1.4 Analys av resultaten	14
3. Resultat och diskussion.....	17
Referenser.....	21
Tack	22

Tabellförteckning

Tabell 1. Laxsmoltens storlek vid märktillfället. Det är totallängden som anges.....	12
Tabell 2. Information om utsättningarna 2019..	12
Tabell 3. Information om utsättningarna 2020..	13
Tabell 4. Antal och andel återvandrande individer från de olika försöksgrupperna.....	17
Tabell 5. Sammanvägda resultat.	18

Figurförteckning

Figur 1. Karta som visar utsättningslokalerna.....	14
Figur 2. Visar hur osäkerheten kan användas för att tolka resultaten.	15

Förkortningar

DCF	EU:s Data Collection Framework, EU:s datainsamlingsprogram av biologiska data (https://dcf.ec.europa.eu/index_en?prefLang=sv)
ICES	Internationella Havsforskningsrådet (International Council for the Exploration of the Sea)
PIT	Passive Integrated Transponder (märkestyp, används bl a för märkning av fiskar och husdjur)
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet

1. Inledning

En viktig aspekt i samband med omprövningar av den svenska vattenkraften är hur man på bästa sätt ska lösa konnektivitetsfrågorna. För att möjliggöra uppströmsvandring krävs någon typ av teknisk lösning, till exempel fiskväg. För att fisk ska kunna passera nedströms finns det tre alternativ, antingen avledning av fisk till en flyktöppning som leder till en nedströmspassage, passage via spill från utskoven, eller att fiskarna passerar via turbinerna. I slutänden handlar det om att välja lösningar som ger så hög passageeffektivitet och överlevnad som möjligt.

I en stor älv som Umeälven har det visat sig vara svårt att avleda nedströmsvandrande smolt och utlekt lax (*Salmo salar* L.). Den anordning som används för avledning av nedströmsvandrande smolt och utlekt lax har låg effektivitet. Endast ca 5 % av smolten leds in i fisktrappan och effektiviteten för utlekt lax är ännu lägre (Lundqvist *et al.*, 2014). Det har inte gjorts några försök att undersöka hur mycket spill från utskoven som skulle behövas för att få en stor andel av smolten att vandra den vägen. Men även om man skulle lyckas med att leda smolten till den gamla älvfåran via spill kan man förvänta sig stora förluster av smolt under deras vandring i den gamla älvfåran. Resultaten från Monténs (1985) undersökning av laxsmoltens passageförluster i nedre Umeälven under åren 1961–1967 visade på förluster via spill på ca 35–36 %, varav ca 16 % förluster uppstod vid passagen genom utskoven. I en senare studie av Persson *et al.* (2019) varierade förlusterna av akustiskt märkt smolt via den gamla älvfåran mellan år, 16–52 %, för smoltstorlekar som motsvarade den vilda smoltens storlek. I Monténs (1985) studie var passageförlusterna lägre vid passage via kraftverket än via den gamla älvfåran, ca 25–26 % jämfört med 35–36 %. I senare studier med telemetri har passageförlusterna via kraftverket varit lägre. I samband med en telemetristudie 2013 var smoltdödligheten via kraftverket i Stornorrfors ca 16 %, N=44 (Lundqvist *et al.* 2014). Passageförlusterna för 59 akustiskt märkta smolt via kraftverket uppgick till ca 12 % (Vikström *et al.* 2020). Telemetristudierna säger dock inget om hur överlevnaden påverkades i ett längre perspektiv.

För att undersöka hur passagen via turbinerna påverkar smolten i ett längre perspektiv krävs individmärkning av stora mängder smolt i kombination med möjlighet till registrering när de återvänder från havsfasen. Monténs (1985) försök

omfattade dessa aspekter. I den studien sattes Carlinmärkt smolt ut uppströms kraftverket, strax nedströms turbinerna, nedströms utloppet från turbinerna, samt uppströms och nedströms dammen i Norrfors. Utsättningen uppströms respektive nedströms dammen syftade till att undersöka vandringsförluster via utskoven samt i den gamla älvfåran.

När Montén genomförde försöken fanns endast tre turbiner installerade i Stornorrfors kraftverk. I dagsläget har Stornorrfors fyra turbiner. Den nya turbinen som togs i bruk 1985 har högre flödeskapacitet än de övriga turbinerna. Vattenfall har därför bedömt att det vore värdefullt med en ny undersökning av passageförluster av smolt, motsvarande den Montén genomförde. Ett sådant försök planerades i samråd med forskare vid institutionen för vilt, fisk och miljö, SLU. Utsättning av PIT-tag märkt odlad laxsmolt (PIT står för Passive Integrated Transponder) gjordes under 2019 och 2020 och registrering av återvändande lekfisk från havet gjordes via PIT-tag antenner i Norrfors fisktrappa under perioden 2020–2023. Syftet med denna rapport har varit att analysera och redovisa resultaten från dessa försök.

2. Material och metoder

Dataunderlaget för denna utvärdering utgörs av utökade smoltutsättningar som gjordes av Vattenfall under 2019 och 2020. Varje år sattes ca 20 000 PIT-tag märkta smolt ut i nedre Umeälven fördelat på fyra lika stora grupper. För att utvärdera passageöverlevnaden genom Stornorrfors kraftverk sattes en av grupperna ut i intaget till turbinerna och en nedströms kraftverket, i huvudfåran utanför pumpstationen vid sammanflödesområdet. I syfte att få ett mått på passageförluster i fisktrappan sattes en grupp ut längst upp i fisktrappan och en grupp direkt nedströms fisktrappan i den gamla älvfåran. Enkelt uttryckt kan man beräkna vandringsförluster i den gamla älvfåran (fisktrappan inklusive naturfåran) med hjälp av kvoten mellan återvandring av individer från gruppen som sattes ut nedströms kraftverket och på motsvarande sätt för den grupp som sattes ut i fisktrappan. Utsättningarna gjordes under samma period som utsättningarna av den kompensationsodlade smolten.

Återvandrande individer registrerades med hjälp av de automatiska PIT-tag läsarna i fisktrappan när individerna återvände från havet som lekfisk upp till tre år efter utsättningarna. Inga individer från försöken återvände efter 2022.

2.1 Försökuppställning

2.1.1 Den odlade smolten

Fiskarna i försöken utgjordes av ca 20 000 2-årig laxsmolt som odlats vid kompensationsodlingen i Norrfors vid Umeälven. Första året fick laxynglen tillväxa i tråg. Ynglen i varje tråg härrörde från flera honor och ynglen var under den perioden inte utvalda för att ingå i någon specifik försöksgrupp. I slutet av första tillväxtsåsongen storlekssorterades fiskarna och de som skulle ingå i försöket placerades i två stora bassänger. I samband med märkningen (PIT-tags, se beskrivning i Leonardsson 2021), ca två månader före utsättning, tilldelades hälften av fiskarna från varje bassäng en specifik försöksgrupp. De märkta fiskarna fördes över till var och en av fyra stora bassänger där fiskarna fick tillbringa tiden fram till utsättning. De fyra bassängerna utgjorde underlagen till de fyra

utsättningsplatserna, vilket innebär att alla fiskar i en bassäng håvades och transporterades till en av utsättningsplatserna.

Smoltens genomsnittliga längder vid märkning varierade något mellan utsättningsgrupperna och mellan år, 2019; 16,5–17,3 cm och 2020; 18,5–20,0 cm (Tabell 1).

Tabell 1. Laxsmoltens medellängd (ML) och standardavvikelse (SDL) i de olika försöksgrupperna vid märktillfället. Det är totallängden som anges.

Utsättningsår	Utsättningslokal	ML (cm)	SDL(cm)	N
2019	Fisktrappan	16,5	1,8	4 995
2019	Nedstr. diffusor	16,9	1,9	4 992
2019	Stornorrf, intag	16,6	1,8	4 997
2019	Utløppskanalen	17,3	1,8	4 985
2020	Fisktrappan	18,5	3,2	4 986
2020	Nedstr. diffusor	19,9	3,3	4 994
2020	Stornorrf, intag	19,2	4,5	4 991
2020	Utløppskanalen	20,0	2,1	4 981

Tabell 2. Information om utsättningarna 2019. Mv avser smoltens medelvikt från stickprov i samband med utsättningarna. G i flödeskolumnen avser beteckningen på den turbin (generator) genom vilken smolten släpptes.

Märk-datum	Tot antal	Mv (g)	Uts. dag	Vatten temp	Utsättningslokal	Omg.	Avresa	Uts. klar	Flöde m ³ /s
26/3	4 891	54,2	23/5	12,0	Utløppskanalen	1	06:31	07:06	573
23/3	4 878	49,5	"	12,0	Fisktrappan	1	06:55	07:11	1,2
26/3	4 850	50,8	"	12,0	Nedstr, diffusor	1	07:34	07:51	20
21/3	4 857	47,7	"	12,0	Stornorrf, intag	1	07:48	08:15	140 (G4)
26/3	4 891	54,2	23/5	12,0	Utløppskanalen	2	11:20	12:08	583
23/3	4 878	49,5	"	12,0	Fisktrappan	2	11:56	12:12	1,2
26/3	4 850	50,8	"	12,0	Nedstr, diffusor	2	12:35	12:54	20
21/3	4 857	47,7	"	12,0	Stornorrf, intag	2	12:55	13:19	140 (G2)
26/3	4 891	54,2	23/5	12,0	Utløppskanalen	3	16:10	16:40	635
23/3	4 878	49,5	"	12,0	Fisktrappan	3	16:28	16:47	1,2
26/3	4 850	50,8	"	12,0	Nedstr, diffusor	3	17:16	17:35	20

21/3	4 857	47,7	"	12,0	Stornorrf, intag	3	17:35	18:05	245 (G4)
26/3	4 891	54,2	23/5	12,0	Utløppskanalen	4	21:15	21:48	708
23/3	4 878	49,5	"	12,0	Fisktrappan	4	21:34	21:52	1,2
26/3	4 850	50,8	"	12,0	Nedstr, diffusor	4	22:15	22:28	20
21/3	4 857	47,7	"	12,0	Stornorrf, intag	4	22:24	22:52	245 (G2)

Tabell 3. Information om utsætningarna 2020. Mv avser smoltens medelvikt från stickprov i samband med utsætningarna. G i flödeskolumnen avser beteckningen på den turbin (generator) genom vilken smolten släpptes.

Märk-datum	Tot antal	Mv (g)	Uts. dag	Vatten temp	Utsættningslokal	Omg.	Avresa	Uts. klar	Flöde m ³ /s
24/3	4 808	82,5	25/5	8,9	Utløppskanalen	1	06:38	07:17	564
18/3	4 868	63,8	"	8,9	Fisktrappan	1	07:12	07:37	1,2
23/3	4 840	83,5	"	8,9	Nedstr, diffusor	1	08:32	08:46	20
19/3	4 970	67,9	"	8,9	Stornorrf, intag	1	07:54	08:34	175 (G3)
24/3	4 808	82,5	25/5	8,9	Utløppskanalen	2	11:26	11:58	576
18/3	4 868	63,8	"	8,9	Fisktrappan	2	11:44	11:57	1,2
23/3	4 840	83,5	"	8,9	Nedstr, diffusor	2	13:13	13:26	20
19/3	4 970	67,9	"	8,9	Stornorrf, intag	2	12:37	13:00	174 (G4)
24/3	4 808	82,5	25/5	8,9	Utløppskanalen	3	16:13	16:40	581
18/3	4 868	63,8	"	8,9	Fisktrappan	3	16:45	17:00	1,2
23/3	4 840	83,5	"	8,9	Nedstr, diffusor	3	17:12	17:30	20
19/3	4 970	67,9	"	8,9	Stornorrf, intag	3	17:27	17:53	228 (G3)
24/3	4 808	82,5	25/5	8,9	Utløppskanalen	4	21:14	21:42	559
18/3	4 868	63,8	"	8,9	Fisktrappan	4	21:05	21:20	1,2
23/3	4 840	83,5	"	8,9	Nedstr, diffusor	4	21:50	22:10	20
19/3	4 970	67,9	"	8,9	Stornorrf, intag	4	22:09	22:34	207 (G3)

2.1.2 Utsättningsområden

Smolten sattes ut i maj på fyra olika platser i Umeälven, överst i fisktrappan i Norrfors, strax nedströms diffusorn (fisktrappans utlopp), i utloppskanalen från kraftverket strax nedströms sammanflödesområdet vid Baggböle, samt i intaget till turbinerna i Stornorrfors vattenkraftverk (Figur 1). Fiskarna transporterades till utsättningslokalerna i en stor tank (750 liter) med vatten som hade samma temperatur som i älven och odlingen. Utsättningarna de enskilda åren gjordes samma dag för samtliga grupper och varje grupp delades upp i fyra mindre ungefär lika stora grupper som sattes ut fördelat över dagen från klockan 7 på morgonen till 23 på kvällen (Tabell 2 och 3).



Figur 1. De fyra utsättningslokalerna för laxsmolten som ingick i försöken visas i kartan med röda fyllda cirklar. Smolten som sattes ut i fisktrappan släpptes i den övre delen av fisktrappan, strax nedströms bron. Utsättningen nedströms diffusorn gjordes i poolen strax nedströms utloppet från fisktrappa. Utsättningslokalen som benämns intag SNF, var strax nedströms gallren vid intaget till turbinerna i Stornorrfors kraftverk. ©Lantmäteriet, min karta.

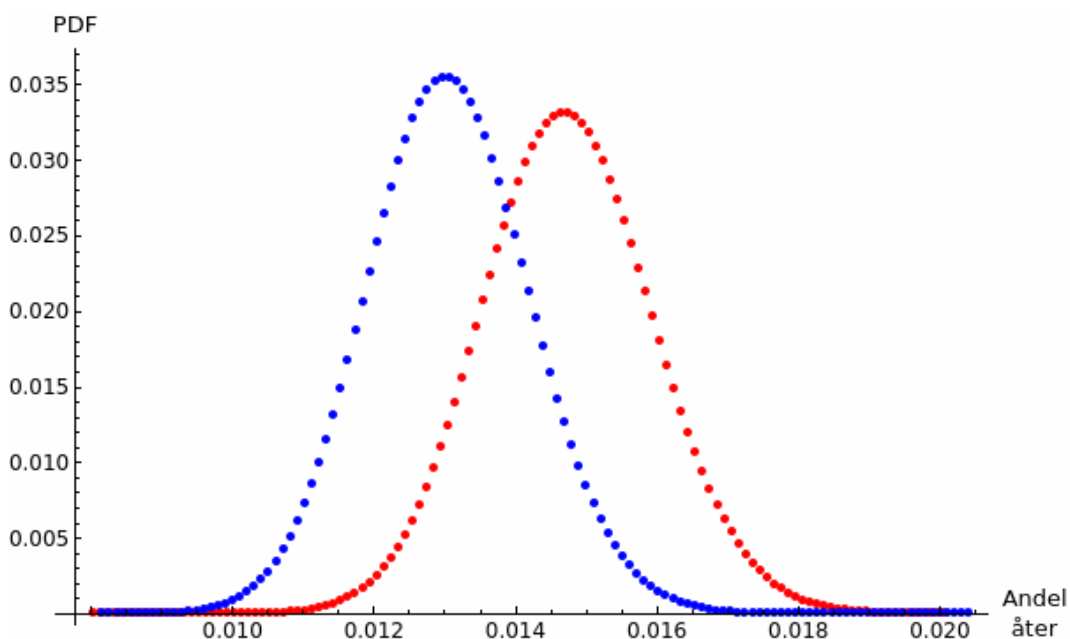
2.1.3 Registrering av återvändande märkt lax

I Norrfors fisktrappa finns PIT-tag läsare installerade för att kunna registrera PIT-tag ID från passerande PIT-tag märkt fisk. En utförlig beskrivning av den infrastrukturen och en utvärdering av densamma återfinns i Leonardsson (2021).

2.1.4 Analys av resultaten

Passageförlusterna kan grovt beräknas som kvoten mellan andel återvändande individer från grupp A och grupp B, där grupp B sattes ut nedströms grupp A. Om

man gör den beräkningen utan hänsyn till osäkerheten i resultaten blir passageförlusterna negativ för kraftverkspassagen eftersom andelen återvändare var högre för de som sattes ut i intaget till turbinerna än i utloppskanalen. Det vore osannolikt att smolten som sattes ut nedströms skulle ha drabbats av högre dödlighet. Mer troligt är att osäkerheten i resultaten är så pass stor att de verkliga passageförlusterna döljs av osäkerheterna som beror på slumpen. Osäkerheten i resultaten måste därför inkluderas i analyserna för att få användbara resultat. I figur 2 illustreras hur osäkerheten kan tolkas för att få biologiskt rimliga svar. Både resultaten för utsättningslokalerna uppströms respektive nedströms är förknippade med osäkerheter och dessa kan återges med hjälp av binomialfördelningar, vars form i dessa fall påminner om normalfördelningar. De biologisk rimliga resultaten finns i figuren i den överlappande delen mellan dessa två binomialfördelningar. De statistiska analyserna av resultaten omfattar därför de överlappande delarna av resultaten. Om hela den röda kurvan hade legat till vänster om den högra svansen av den blå kurvan hade alla resultat för den röda kurvan inkluderats i analyserna.



Figur 2. Binomialfördelningar för andel återvändande av smolten som sattes ut vid kraftverksintaget (röd), respektive vid utloppskanalen (blå). Enligt fördelningarna framstår andelen återvändare som högre för den röda kurvan. Det finns dock en region där kurvorna överlappar som medger högre vandringsförluster för smolten som sattes ut vid kraftverksintaget jämfört med vid utloppskanalen. Det är det överlappet som är fokus i analyserna av resultaten. Y-axeln visar proportionen av resultaten för respektive andel återvändande utifrån täthetsfunktionen (PDF) för vilken samtliga punkters y-värden summerar till 1.

Vid beräkningarna gjordes antagandet att överlevnaden för individerna i de grupper som sattes ut uppströms ($s_1 \cdot s_2$) borde vara lägre ($s_1 < 1$) än för de som sattes

ut nedströms (s_2). Passageförlusten på sträckan uppströms ges då av $1-s_1$. Log-likelihood funktionen som användes i den statistiska analysen ges av Eq. 1.

$$LL = \text{Log}[\text{PDF}[\text{Bin}[N_1, s_1 * s_2], R_1]] + \text{Log}[\text{PDF}[\text{Bin}[N_2, s_2], R_2]], \quad \text{Eq. 1}$$

Där N avser antal märkta individer som sattes ut, R avser antal individer som registrerades i Norrfors fisktrappa i samband med lekvandringen och s avser överlevnad. Index=1 avser utsättningsplatsen uppströms och index=2 avser utsättningsplatsen nedströms. PDF står för "Probability density function" och Bin är en förkortning av Binomialfördelning.

Maximeringen av log-likelihood funktionen gjordes med hjälp av MCMC (Markov Chain Monte Carlo), här baserad på Metropolis-Hastings algoritmen (Hastings 1970), för att hitta de bästa skattningarna och samtidigt få information om osäkerheten i skattningarna.

På grund av att få individer kom tillbaka från de utsättningar som gjordes 2020 analyserades data sammanslaget för 2019 och 2020. För att öka tillförlitligheten i skattningen av passageförlusten genom kraftverket vägdes resultaten även samman med tidigare resultat från utvärdering av passageförluster (Vikström et al. 2020).

3. Resultat och diskussion

Utsättningarna som gjordes 2019 resulterade i 1,3–2,6 % återvandring, med ungefär lika stor andel återvändande 2020 och 2021 (Tabell 4). Däremot blev återvandringen från smolten som sattes ut 2020 betydligt lägre, 0,1–0,2 %. Den grupp som hade flest andel återvändande individer från utsättningarna som gjordes 2019 var den som sattes ut i intaget till turbinerna, följt av den grupp som sattes ut i huvudfåran vid sammanflödesområdet. Lägst andel återvändande individer hade gruppen som sattes ut nedströms fisktrappan. Utsättningen som gjordes 2020 gav för få återvändande individer för att kunna uttala sig om skillnader mellan grupperna.

Tabell 4. Antal och andel återvandrande individer från de olika försöksgrupperna. Endast enstaka individer återkom efter mer än två år i havet.

Utsättningslokal	Utsättn.år	Antal utsatta	Åter 2020	Åter 2021	Åter 2022	Totalt antal åter	Andel åter, totalt
Fisktrappan	2019	4 995	37	35	1	73	1,46%
Nedstr.diffusorn	2019	4 992	39	25	2	66	1,32%
Stornorrf. intag	2019	4 997	73	55	2	130	2,60%
Utloppsskanalen	2019	4 985	65	48	4	117	2,35%
Fisktrappan	2020	4 869		10	18	28	0,21%
Nedstr.diffusorn	2020	4 830		5	6	11	0,10%
Stornorrf. intag	2020	4 971		5	12	17	0,10%
Utloppsskanalen	2020	4 811		7	7	14	0,15%

Passageförlusten genom kraftverket uppgick i genomsnitt till ca. 8 % med 95 % konfidensintervall mellan 0 och 38 % när man väger samman resultaten från utsättningarna 2019 och 2020. Om man dessutom väger in passageförlusterna från Vikström et al. (2020) blir den genomsnittliga passageförlusten 8,5 % med ett 95 % konfidensintervall från 0 till 30 % (Tabell 5). Den sammanvägda passageförlusten i fisktrappan för 2019 och 2020 uppgick i genomsnitt till 10 %, med 95 % konfidensintervall mellan 0,0 och 31 %. Passageförlusten i den gamla älvfåran,

inklusive fisktrappan uppgick i genomsnitt till 33,9 %, med 95 % konfidensintervall mellan 7,8 och 52,4 %. Den sammanvägda passageförlusten i den gamla älvfåran för 2019 och 2020 uppgick i genomsnitt till 41,8 %, med 95 % konfidensintervall mellan 18,9 och 59,3 %.

Tabell 5. Passageförluster (%) mellan utsättningsplats A och B, med antagandet att överlevnaden borde vara högre för individer som sattes ut vid B som var belägen nedströms A. NKG och ÖKG avser nedre respektive övre 95 % konfidensgräns.

Utsättningsplats A	Utsättningsplats B	Passage- förlust (%)	NKG	ÖKG
Intag Stornorrfors	Utloppsskanalen	8,5	2,8	29,7
Överst i fisktrappan	Nedströms fisktrappan	10,0	0,3	31,3
Överst i fisktrappan	Utloppsskanalen	33,9	7,8	52,4
Nedströms fisktrappan	Utloppsskanalen	41,8	18,9	59,3

Resultaten från denna undersökning är jämförbara med Monténs resultat förutom vad gäller kraftverkspassagen. De nya resultaten uppvisar passageförluster som motsvarar Monténs resultat för själva turbinpassagen. De höga förlusterna på närmare 20 % för tunnelpassagen som Montén fann observerades inte i de försök som genomfördes 2019–2023 och inte heller i Lundqvists *et al.* (2014) eller Vikströms *et al.* (2020) telemetristudier. En tänkbar förklaring till de stora förlusterna som Montén uppmätte skulle kunna bero på att andelen återvandrande från gruppen som sattes ut i utloppsskanalen var något högre än det sanna medelvärdet, på grund av slumpen. Alternativa förklaringar skulle kunna vara att strömbildningen i tunneln var annorlunda då med tre turbiner jämfört med fyra i dagens läge. Strömförhållandena i viken nedströms tunnelöppningen kan även ha varit mer gynnsam för predatorer, till exempel gädda, när Montén gjorde sin undersökning. Om den förklaringen stämmer uppstod inte förlusterna i Monténs försök i själva tunneln utan strax nedströms, till följd av predation. Men, en enklare förklaring skulle kunna vara att den längre hanteringen av smolten som sattes ut strax nedströms turbinerna påverkade dessa smolt mer än i de övriga utsättningsgrupperna. För att ta sig ned till den utsättningsplatsen krävdes en transport av smolt i mindre behållare i hissen som fanns i det 75 m djupa schaktet.

Smolten vandrar normalt nära ytan, vilket gör dem känsliga för fågelpredation av mås, skrake och skarv. I samband med smoltutsättningarna från fiskodlingen ses vanligen stora flockar med måsar följa smolten nedströms. Av den anledningen misstänks fågelpredation vara en betydande orsak till passageförlusterna såväl i fisktrappan som i den gamla älvfåran. Måspredationen är storleksberoende, med störst predationsrisk för smolt under 17 cm, därefter avtar predationsrisken med ökad längd på smolten (Alanrä 2025). Smolt längre än 20–24 cm verkar ha vuxit

ur predationsfönstret för måsar, men troligen inte för trutar. Med tanke på detta storleksberoende borde smolten i Monténs försök varit mer känsliga för predation jämfört med försöket i denna studie eftersom smoltens medellängd i Monténs studie var 15,2 cm, att jämföra med 18–20 cm i denna studie.

En passageförlust som inte har kunnat beräknas i denna undersökning är de predationsförluster som uppstår när smolten kommer till ledarmen, mot öppningen där den översta delen av fisktrappan mynnar mot älven. I det området ansamlas gäddor under smoltvandringsperioden, vilket innebär ytterligare förluster utöver de som beräknades för passagen i fisktrappan. Hur stora dessa förluster kan vara är i nuläget okänt. Men det är en förlust som tillkommer för den vilda smolten som leds in i fisktrappan. Den fråga som man ställer sig är om resultaten för odlad smolt i denna undersökning kan väntas stämma överens med hur den vilda smolten påverkas av de olika passagerna. Den egenskap som är mest avgörande för passageframgången via turbinerna är smoltens längd (Leonardsson 2012), snarare än om den är vild eller odlad. Fågelpredationen i fisktrappan och i den gamla älvfåran är också storleksberoende och i det fallet torde Vindelälvs smolten vara mer utsatt än den odlade som användes i försöken. Den genomsnittliga längden på Vindelälvs smolt är ca 15 cm (N=19 547, mätt inom DCF), medan genomsnittslängden på de odlade var 18–20 cm. Den vilda smolten har varit utsatt för fågelpredation under nedströmsvandringen och kan möjligen ha utvecklat ett undvikandebeteende, men samtidigt är förekomsten av mås lägre i inlandet än mot kusten. Slutsatsen blir därför att med predationsförlusterna vid ledarmen torde de sammanlagda förlusterna via fisktrappan och den gamla älvfåran vara på ungefär samma nivå eller möjligen något högre för vild än för odlad smolt.

Om man jämför de olika alternativa passagevägarna för smolt framstår kraftverkspassagen vara det alternativ som ger högst långsiktig smoltöverlevnad. Det alternativet ger enligt den här undersökningen ca 25 % högre överlevnad än de alternativa passagevägarna, vilket bör tas i beaktande när man överväger vilken passagelösning som skall gälla. Med en felmarginal på ± 10 % till följd av osäkerheterna i skattningarna, i kombination med överensstämmelsen jämfört med tidigare studier, blir vandringsförlusterna 15–35 % högre för smolt som leds via den gamla älvfåran jämfört med de som passerar via kraftverket.

Ur djurvälståndssynpunkt framstår inte passage via turbiner som en bra lösning. Men, ur miljösynpunkt är det inte heller bra om man väljer en djurvänligare lösning som resulterar i att 15–35 % färre individer ges möjlighet att återvända från havet och bidra till rekrytering uppe i Vindelälven. Den högre passageöverlevnaden via turbinerna ökar möjligheten för fler laxar att bli äldre, vilket ger fler återvändande lekvandrare som tillbringat 3–5 år i havet. Detta talar för att man borde prioritera

det passagealternativ som maximerar överlevnaden för smolten, vilket enligt både Monténs resultat och resultaten i denna studie skulle innebära passage för smolten via kraftverket.

Den ledarm som finns på plats i Norrfors för avledning av smolt behöver dock finnas kvar eftersom den fyller en viktig funktion då den styr in tillräckligt med smolt i fisktrappan för att ge värdefull information till DCF. Information från de vilda smolt som märks årligen i fisktrappans smoltfångstanläggning används av ICES för att beräkna laxarnas havsöverlevnad och smoltproduktionen i Vindelälven.

Referenser

- Alanära, A. 2025. Den odlade laxens tillväxt och överlevnad i havet som post-smolt. Rapport 2025.1, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vilt, fisk och miljö. <https://pub.epsilon.slu.se/37224/1/alanara-a-20250526.pdf>.
- Hastings, W.K. 1970. "Monte Carlo Sampling Methods Using Markov Chains and Their Applications". *Biometrika*. **57** (1): 97–109.
- Leonardsson, K. 2012. Modellverktyg för beräkning av ålförluster vid vattenkraftverk. Elforsk rapport, 12-36. <https://energiforsk.se/rapporter/modellverktyg-for-berakning-av-alforluster-vid-vattenkraftverk/>
- Leonardsson, K. 2021. Utvärdering av funktionen hos fisktrappan i Norrfors under perioden 2013-2020. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vilt, fisk och miljö, Umeå, Rapport 2021:2. https://pub.epsilon.slu.se/22174/1/leonardsson_k_210203.pdf.
- Lundqvist, H., K. Leonardsson, D.-E. Lindberg, S. Westbergh, Å. Forssén, & G.I. Hellström. 2014. Laxens nedströmsvandring mot fiskavledare till Stornorrfors fisktrappa i Umeälvens nedre del. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vilt, fisk och miljö, Umeå, Rapport 2014:1. https://pub.epsilon.slu.se/11464/7/lundqvist_h_et al_140916.pdf
- Montén, E. 1985. Fisk och turbiner: om fiskars möjligheter att oskadda passera genom kraftverksturbiner. Vällingby, Vattenfall 1985. ISBN 9171862439.
- Persson, L., A. Kagervall, K. Leonardsson, M. Royan, and A. Alanära. 2019. The effect of physiological and environmental conditions on smolt migration in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Ecology of Freshwater Fish*. 2019; 28:190-199. <https://doi.org/10.1111/eff.12442>.
- Vikström, L., Leonardsson, K., Leander, J., Shry, S., Calles, O., and Hellström, G. 2020. Validation of Francis–Kaplan Turbine Blade Strike Models for Adult and Juvenile Atlantic Salmon (*Salmo salar*, L.) and Anadromous Brown Trout (*Salmo trutta*, L.) Passing High Head Turbines. *Sustainability*, 12, 6384; <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/16/6384>.

Tack

Ett stort tack riktas till Åke Forssén vid Vattenfall för att ha tillhandahållit information om odling av försöksfisken, genomförande av smoltutsättningarna, samt data från registreringar i fisktrappan.