



Länsstyrelsen
i Jönköpings län

Meddelande nr 2018:33



Jönköpings
Fiskeribiologi

Beräkning av smoltproduktionen i Emån och dess tillflöden

Delrapport i Pilotprojekt Emån - vattenkraft



- Beräkning av smoltproduktionen i Emån och dess tillflöden
 - Delrapport i Pilotprojekt Emån - vattenkraft

Meddelande	2018:33
Referens	Nilsson N, Jönköpings Fiskeribiologi AB. December, 2018
Kontaktperson	Anders Stenström, Länsstyrelsen i Jönköpings län, Direkttelefon 010-22 36 336, e-post anders.stenstrom@lansstyrelsen.se
Webbplats	www.lansstyrelsen.se/jonkoping
Fotografier	Framsida: Kvillen vid Fliseryd (Niklas Nilsson, Jönköpings Fiskeribiologi AB)
Kartmaterial	Lantmäteriets öppna data © Länsstyrelsen i Jönköpings län © Länsstyrelsen i Kalmar län
ISSN	1101-9425
ISRN	LSTY-F-M—18/33--SE
Upplaga	25 exemplar.
Tryckt på	Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2018
Miljö och återvinning	Rapporten är tryckt på miljömärkt papper

Förord

Vattenkraftens miljöpåverkan, och vilka åtgärder som behöver vidtas för att miljöanpassa vattenkraften, har de senaste åren debatterats mycket. Flertalet utredningar och rapporter har tagits fram av svenska myndigheter, och saken kulminerade något under våren 2018 då riksdagen röstade igenom en ny lagstiftning på området, vilken börjar gälla 1 januari 2019.

Den nya lagstiftningen innebär att alla vattenkraftverk ska förses med ”moderna miljövillkor”, vilket ska ske genom att man utifrån en nationell plan omprövar alla kraftverken. Detta löser dock inte frågan om vad moderna miljövillkor är, och hur villkoren kan tänkas variera på olika ställen. Olika kraftverk har olika förutsättningar, såsom naturvärden upp- och nedströms och miljöpåverkan på dessa. Det kommer därför bli nödvändigt att för varje kraftverk göra en bedömning av hur miljöanpassningen ska göras för att uppfylla kraven i lagstiftningen.

På uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten har Länsstyrelsen genomfört ett pilotprojekt i Emån, för att visa exempel på hur man kan resonera kring åtgärder och ambitionsnivå för miljöanpassningen av vattenkraften i ett avrinningsområde. Denna rapport utgör en delstudie i pilotprojektet, för att få en djupare kunskap i hur olika åtgärder, på olika platser, kan ge miljönytta i form av ökad produktion av havsvandrande laxfiskbestånd i Emån.

Delstudien har utförts av Niklas Nilsson vid Jönköpings Fiskeribiologi AB, och har finansierats av Havs- och vattenmyndighetens anslag 1:11 Åtgärder för havs- och vattenmiljö.

Innehållsförteckning

Förord	5
Sammanfattning	8
1. Inledning och bakgrund	11
2. Material och metod	11
2.1. Projektvattendrag	11
2.2. Underlagsmaterial	12
2.2.1. Elfiskedata	12
2.2.2. Biotopkarteringsdata	13
2.3. Smoltproduktionsmodellens uppbyggnad.....	13
2.3.1. Beräkning av ålderstrukturen i lax-/öringpopulationen.....	14
2.3.2. Skattning av den relativa tätheten i olika habitat.....	15
2.3.3. Beräkning av medeltätheten per habitat i respektive vattendrag.....	16
2.3.4. Skattning av vinteröverlevnad	17
2.3.5. Skattning av andelen laxfiskungar som förväntas bli smolt	18
2.3.6. Specifik smoltproduktion per habitatklass	19
2.3.7. Lekområdeskompensation.....	19
2.3.8. Skattning av migrationsmortaliteten	19
2.3.9. Beräkning av mängden smolt som lämnar vattendraget	21
2.4. Populationsmodellens uppbyggnad	21
2.5. Beräkning av potentialen vid avveckling.....	23
2.6. Avgränsningar/urval avseende Emåns huvudfåra och tillflöden	23
2.7. Modellerade scenarion	25
3. Resultat	27
3.1. Smoltproduktionsmodellen.....	27
3.1.1. Nuläge, BMT och Referensförhållande	27
3.1.2. Effekterna av olika åtgärds kombinationer	30
3.2. Populationsmodellen	32
3.2.1. Nuläge, BMT och Referensförhållande	32
4. Generella kommentarer avseende resultaten	33
5. Erkännanden	35
6. Referenser	36
6.1. Litteratur.....	36
6.2. Internet	37
7. Bilagor	39
7.1. Detaljerade resultat smoltproduktionsmodellen (Nuläge, BMT och Referensförhållande)	39
7.2. Detaljerade resultat smoltproduktionsmodellen (Låg-, Medelhög- och Hög ambitionsnivå).....	42

Sammanfattning

På uppdrag av Länsstyrelsen i Jönköpings län har Jönköpings Fiskeribiologi AB genomfört beräkningar av lax- och havsöringssmoltproduktionen för Emån, från mynningen i Östersjön upp till Sjunnen, samt åtta av Emåns tillflöden längs sträckan enligt två metoder/modeller. Syftet är att skapa ett underlag för att kunna kvantifiera olika miljöförbättrande- och fiskevårdsåtgärder vid kraftverk/dammar utifrån den nytta som åtgärderna förväntas medföra, vilket i sin tur kan användas för att planera och prioritera det framtida åtgärdsarbetet inom Emåns avrinningsområde.

Beräkningarna baserades på data från Svenskt Elfiskeregister (SERS) och Sveriges nationella databas för biotopkarteringar. För att kunna bedöma effekten av åtgärder vid definitiva vandringshinder (såsom vattenkraftverk) delades vattendragen in i olika delområden där ett delområde utgjordes av samtliga delsträckor (enligt biotopkarteringen) mellan två definitiva vandringshinder för lax/öring. Delområdena numrerades (precis som delsträckorna) nerifrån och upp, dvs. delområde 1 utgjorde alltid området mellan vattendragets mynning och upp till det första definitiva vandringshindret.

Resultaten visar att för närvarande (Nuläge) uppgår den beräknade totala smoltproduktionen (lax och havsöring) till cirka 8 300 smolt per år enligt smoltproduktionsmodellen respektive 16 300 smolt per år enligt populationsmodellen. Den begränsade produktionen uppströms Finsjö (enligt båda modellerna) beror främst på antalet kraftverkspassager, samt bristen på lämpliga lek- och uppväxtområden i huvudfåran mellan Finsjö och Högsby. Baserat på fångsterna i de två smoltfällor som var placerade i Emåns mynning våren 2007 och 2008 beräknades den årliga smoltproduktionen i Emån uppgå till cirka 4 400 smolt (1 729 havsöringssmolt och 2 688 laxsmolt). Detta motsvarar 53 % av den beräknade produktionen enligt smoltproduktionsmodellen respektive 27 % av den beräknade produktionen enligt populationsmodellen. De förväntade effekterna av den biotopvård som genomfördes i Grönskogsområdet under sommaren 2018 har dock inkluderats vid beräkningarna enligt de båda modellerna, vilket måste beaktas då man jämför med den ”uppmätta” smoltproduktionen.

För att kunna undersöka effekterna av olika fiskevårdsåtgärder simulerades två olika scenarion: BMT (bästa möjliga teknik) respektive referensförhållande. I scenariot BMT antogs att samtliga kraftverk/dammar i Emåns huvudfåra, samt i tillflödena, på sträckan mellan mynningen och Sjunnen, hade försetts med fiskvägar i uppströms och nedströms riktning som medförde att passageförlusterna för både uppströms och nedströmsvandrande fisk uppgick till maximalt 10 %, samt att naturfåroarna vid kraftverken/dammarna tillgängliggjorts och försetts med minimitappningar som möjliggjorde full produktion. I scenariot Referensförhållande antogs att alla kraftverk/dammar hade avvecklats och att strömsträckor återskapats i tidigare indämda områden i Emåns huvudfåra och i tillflödena, på sträckan mellan mynningen och Sjunnen.

Genomförs åtgärder (fiskvägar i uppströms och nedströms riktning) vid samtliga kraftverk och dammar i Emåns huvudfåra som motsvarar bästa möjliga teknik (BMT) skulle smoltproduktionen öka till cirka 12 900 smolt/år (smoltproduktionsmodellen) respektive cirka 22 400 smolt/år (populationsmodellen). Ökningen beror dels på en större överlevnad i samband med passage av kraftverk/dammar, dels att fler lek- och uppväxtområden tillgängliggörs, till viss del i Emåns huvudfåra, men i huvudsak i Kvillen och i tillflödena

uppströms Högsby. Den begränsade potentialen i Emåns huvudfåra (vid BMT) beror på att den indämning som kraftverks-/dammanläggningarna medför och de rensningar som skett kvarstår. Effekterna av att tillgängliggöra nya delområden är nämligen i stor utsträckning beroende på hur anläggningarna åtgärdas. Det kan till exempel uppstå väsentliga skillnader i hur stora arealer uppväxtområden som tillgängliggörs och hur migrationsmortaliteten påverkas beroende på om det anläggs fiskvägar eller om utrivningar sker.

I ett scenario utan några kraftverk och/eller dammar i Emåns huvudfåra (Referensförhållande) uppgår den beräknade totala smoltproduktionen till cirka 53 000 smolt per år enligt smoltproduktionsmodellen respektive cirka 213 000 smolt per år enligt populationsmodellen. Detta motsvarar cirka 6 respektive 13 gånger så mycket som den i dagsläget (Nuläge) beräknade smoltproduktionen.

Skillnaderna i utfall mellan modellerna, i synnerhet vid scenariot ”Referensförhållande”, beror bland annat på att det i den förenklade populationsmodellen inte har inkluderats någon migrationsmortalitet i vattendragen. Avseende avvikelserna jämfört med tidigare genomförda smoltproduktionsberäkningar för Emån med hjälp av smoltproduktionsmodellen beror dessa skillnader på att smoltproduktionsmodellen sedan dess har kompletterats med den så kallade ”lekområdeskompensationen”, vilken tillkom efter validerande fältundersökningar.

För att ytterligare testa effekterna av olika åtgärdscombinationer vid kraftverk/dammar beräknades även utfallet av tre olika scenarion enligt smoltproduktionsmodellen utifrån olika ambitionsnivåer på åtgärderna:

- Låg ambitionsnivå: BMT vid kraftverk/dammar i Emåns huvudfåra upp till och med Blankaström och i tillflödena upp till Järnforsen, samt avveckling av det nedersta kraftverket (Kvarnstugan) i Sällevadsån.
- Medelhög ambitionsnivå: BMT vid kraftverk/dammar i Emåns huvudfåra upp till och med Turefors (inklusive minimitappning enligt BMT i naturfåran vid Ädelfors), samt avveckling av samtliga kraftverk/dammar i tillflödena på sträckan mellan mynningen och Turefors.
- Hög ambitionsnivå: BMT vid kraftverk/dammar i Emåns huvudfåra upp till och med Turefors samt avveckling av kraftverken/dammarna vid Ädelfors, Bruksgården, Aspödam och Holsbybrunn, samt samtliga kraftverk/dammar i tillflödena på sträckan mellan mynningen och Sjunnen.

	Nuläge	BMT	Referens- förhållande	Låg ambitionsnivå	Medelhög ambitionsnivå	Hög ambitionsnivå
Smoltproduktionsmodellen (medelproduktion)	8 300 smolt	12 900 smolt	53 000 smolt	12 300 smolt	13 000 smolt	13 800 smolt
Populationsmodellen	16 300 smolt	22 400 smolt	213 000 smolt	-	-	-

Avslutningsvis påpekas att den här rapporten av praktiska, tidsmässiga och resursskäl enbart har fokuserat på produktionen av havsvandrande laxfisksmolt. Läsaren bör dock vara medveten att de biologiska värdena och funktionerna kopplade till strömmande habitat i vattendrag inte enbart kan kvantifieras utifrån en förväntad produktion av laxfisksmolt. Rapporten utgör inte heller något ställningstagande avseende vilka av Emåns tillflöden som i ett historiskt perspektiv har utgjort reproduktionsområden för

havsvandrande laxfisk eller tillflödenas värde för strömlevande öring, samt annan fisk och strömlevande fauna.

1. Inledning och bakgrund

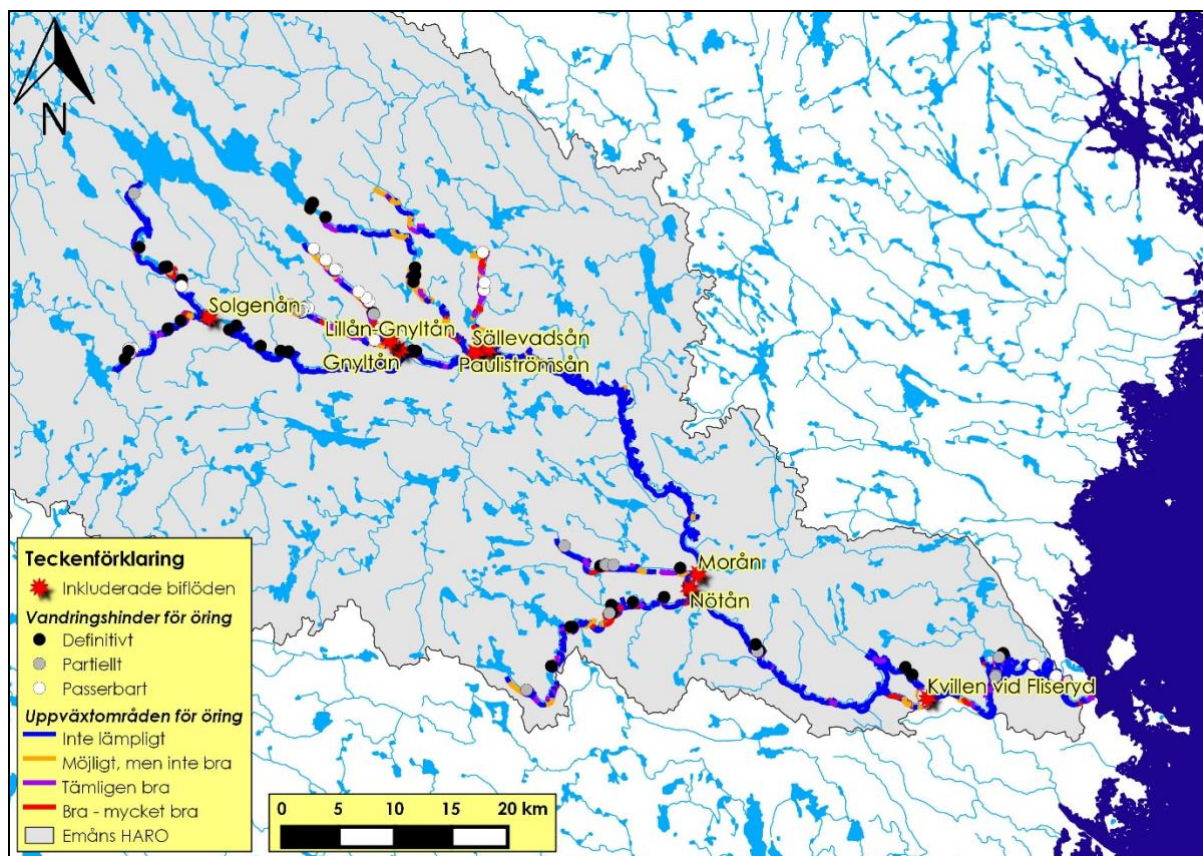
Det finns ett behov av att på ett tillförlitligt och kostnadseffektivt sätt kunna förutsäga produktionen av lax- och havsöringssmolt i Emån och dess tillflöden. Idag sker till exempel planering och prioritering av skydds- och fiskevårdsåtgärder utifrån den nytta som åtgärderna förväntas medföra. Ett sätt är att prioritera åtgärderna utifrån den ökning i smoltproduktion som förväntas ske efter genomförandet av åtgärderna. Olika åtgärder ger som bekant olika stor nytta beroende på bl.a. hur stora lek- och uppväxtområden som tillgängliggörs, samt hur migrationsmortaliteten förändras. Smoltproduktionen är således ett av flera sätt att kvantifiera nyttan/naturvärdet.

På uppdrag av länsstyrelsen i Jönköpings län har Jönköpings Fiskeribiologi AB genomfört beräkningar av smoltproduktionen i Emån, från mynningen i Östersjön upp till Sjunnen, samt vissa av tillflödena längs sträckan. Beräkningarna har skett enligt två olika metoder/modeller (hädanefter benämnda smoltproduktionsmodellen respektive populationsmodellen).

2. Material och metod

2.1. Projektvattendrag

De vattendrag som inkluderades vid smoltproduktionsberäkningarna var Emån, från mynningen i Östersjön upp till Sjunnen, samt åtta av Emåns tillflöden längs sträckan (Figur 1). För motiveringar till urvalet hänvisas till avsnitt 2.5. Avgränsningar/urval avseende Emåns huvudfåra och tillflöden.



Figur 1. Översiktskarta över Emåns avrinningsområde och Emån, från mynningen i Östersjön upp till Sjunnens, samt åtta av tillflödena längs sträckan för vilka smoltproduktionsberäkningar har genomförts.

2.2. Underlagsmaterial

2.2.1. Elfiskedata

Från Svenskt Elfiskeregister (SERS) erhöles data avseende samtliga genomförda elfisken inom huvudavrinningsområde 074 (Emån). Utifrån ett antal urvalskriterier valdes därefter de elfisken ut som sedermera användes vid smoltproduktionsberäkningarna. Observera att det i vissa fall har förekommit expertbedömningar där enskilda elfisken av olika skäl har exkluderats vid beräkningarna trots att de uppfyllde nedanstående kriterier:

- Elfiskena har skett under den senaste 10-årsperioden **2008-2017** (äldre elfisken anses inte vara representativa för att beräkna dagens smoltproduktion).
- Elfisket har skett under perioden **juli – september** (elfisken utförda tidigare eller senare kan uppvisa onormalt höga respektive låga tätheter).
- Elfisket har skett vid **låg- eller medelvattennivå** (elfisken utförda vid höga vattennivåer uppvisar ofta lägre tätheter).
- Elfisket har utförts **kvantitativt**, dvs. två eller tre utfiskningar (kvalitativa elfisken, 1 utfiske, ger osäkrare täthetsmått eftersom de baseras på fasta s.k. P-värden).

- Populationstypen för öring är **vandrande** (stationär öring uppvisar oftast lägre tätheter eftersom både föräldrafiskar och avkomma delar på livsutrymmet). Lax förutsätts alltid vara vandrande.

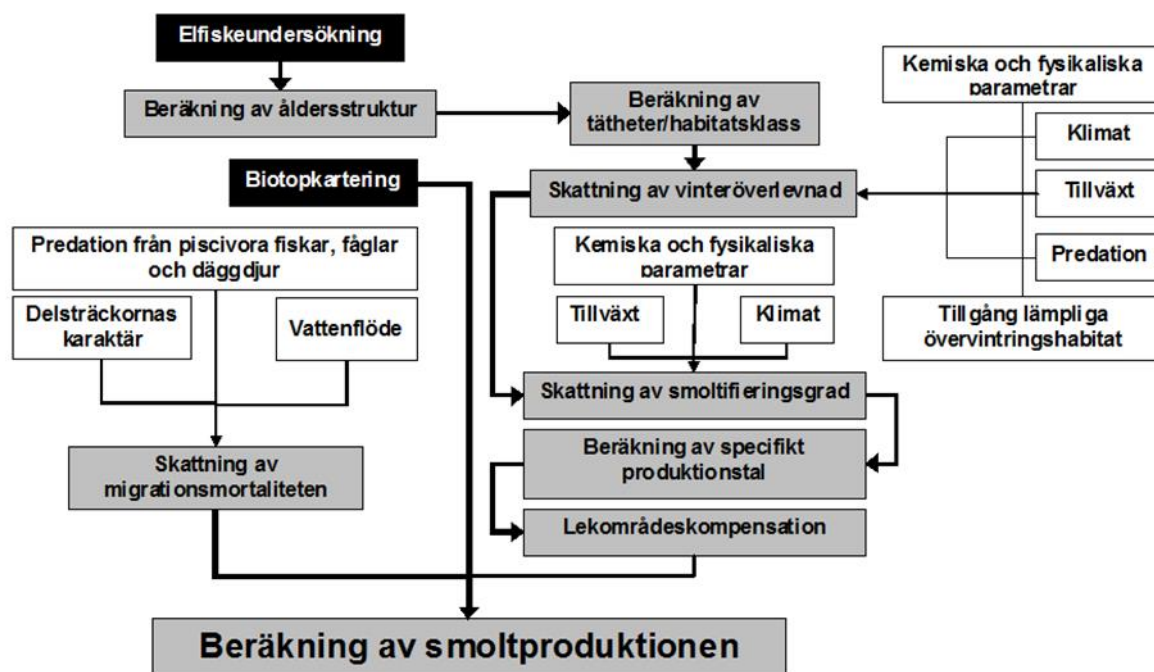
2.2.2. Biotopkarteringsdata

Biotopkarteringsdata erhöles från Sveriges nationella databas för biotopkarteringar. De parametrar som användes vid smoltproduktionsberäkningarna var dels uppgifter om delsträckornas längd och bredd, samt värde som lek- och uppväxtområde för öring, dels uppgifter om vandringshindrens passerbarhet för lax/öring och om de bedömts var naturliga eller inte.

För att kunna bedöma effekten av åtgärder vid definitiva vandringshinder (såsom vattenkraftverk) delades vattendragen även in i olika delområden där ett delområde utgjordes av samtliga delsträckor mellan två definitiva vandringshinder för lax/öring. Delområdena numrerades precis som delsträckorna nerifrån och upp, dvs. delområde 1 utgjorde alltid området mellan vattendragets mynning och upp till det första definitiva vandringshindret. Vidare gjordes noteringar om de olika delsträckorna och delområden var tillgängliga för lax/öring från Östersjön, samt om de utgjort historiska reproduktionsområden för lax/öring. Det senare baserades på om delområdena var åtskilda av definitiva vandringshinder för lax/öring som bedömts vara naturliga respektive artificiella.

2.3. Smoltproduktionsmodellens uppbyggnad

Följande avsnitt är en sammanfattande beskrivning av smoltproduktionsmodellens uppbyggnad baserat på Halldén m.fl. (2005) och Nilsson m.fl. (2010a). Sålunda avses dessa rapporter då ingen annan referens anges. Då begreppet smoltproduktion används avses den mängd smolt som årligen lämnar vattendraget och når Östersjön förutsatt att inget annat anges. För härledning av formler och mer ingående studier av smoltproduktionsmodellen hänvisas till ovan nämnda rapporter. Observera att smoltproduktionsmodellen ursprungligen är framtagen för beräkning av öringsmoltproduktion och att man vid beräkningarna i föreliggande rapport har använt samma formler och antaganden för lax som för öring. Bearbetningen av underlagsmaterialet, körningen av smoltproduktionsberäkningarna, samt uttaget av resultaten skedde med hjälp av flera Microsoft Access databaser.



Figur 1. Översiktlig beskrivning av smoltproduktionsmodellens konstruktion. Svarta boxar symboliserar de olika undersökningsmetoderna/underlagsdata som krävs, grå boxar symboliserar de olika beräkningsstegen i smoltproduktionsmodellen, medan vita boxar är exempel på faktorer som påverkar utfallet av skattningarna. Den beräknade smoltproduktionen som erhålls är nettoproduktion (dvs. mängden smolt som lämnar vattendraget). Figuren är hämtad från Nilsson m.fl. 2010b.

2.3.1. Beräkning av åldersstrukturen i lax-/öringpopulationen

En av grundförutsättningarna för att smoltproduktionsmodellen ska kunna förutsäga smoltproduktionen korrekt är att lax-/öringungarna kan avgränsas i åldersgrupperna 0+, 1+ och >1+ vid elfisket på sommaren/sensommaren eftersom det är dessa som antas bli smolt nästkommande vår, dvs. som 1-åriga, 2-åriga och 3-åriga smolt. Då det gäller öringar 0+ och öringar >0+ visade Ljung (2003) att det i stort sett inte förekom något överlapp och att 0+ kan skiljas ut visuellt redan vid fångst. För att skilja 1+ från >1+ krävs det dock inte enbart att man känner medellängden för 1+ utan även maxlängden för 1+. Sambandet uttrycks:

Ekvation 1.

$$\text{längsta 1+} = \text{längsta 0+} * 1,557 - 0,059 * \text{dagnummer} + 43,185.$$

(Anova $F_{2,5321}=8004$, $p<0,001$, $r^2=0,75$, Degerman m.fl. 2010)

Utifrån ekvation 1 beräknas hur stor andel av >0+ som utgörs av 1+, vilket görs för varje elfiskelokal och elfisketillfälle. I smoltproduktionsmodellen har man i detta skede gjort antagandet att överlappet i längd mellan åldersklasserna 1+ och äldre är försumbart, eller åtminstone liksidigt så att lika många 1+ blir klassade som >1+ som vice versa. Således åldersindelas lax-/öringungarna i 0+, 1+ och >1+. För de fiskar som utgör gruppen >1+ antas att de är i åldersintervallet 2+ till 4+ (ekvation 2). Tätheterna beräknas utifrån antagandet att fångsteffektiviteten vid elfiske är likartad för alla åldersgrupper >0+.

Ekvation 2.

täthet >1+ = 78 % täthet 2+, 20 % täthet 3+ och 2 % täthet >3+
(Täthetsproportioner för öringungar >1+, Degerman, opubl. material)

2.3.2. Skattning av den relativa tätheten i olika habitat

I ett vattendrag finns det naturliga skillnader i tätheter mellan olika åldersgrupper i olika habitat. Äldre fisk har en tendens att uppehålla sig på djupare habitat i förhållande till yngre fisk (Bohlin 1977). Även lax och havsöringsungar uppehåller sig till viss del i skilda habitat typer, men överlappet är stort. Enligt den standardiserade elfiskemetodiken (Degerman m.fl. 2002) beskrivs lokalens lämplighet för laxfiskungar subjektivt i tre klasser (Tabell 1). Då elfisken genomförs sker dessa ofta på grunda lokaler. Dessutom har det visat sig att elfiskelokalerna oftast förläggs till lokalvärde 2 eftersom det är här man förväntar sig att finna goda tätheter av laxfiskungar (Halldén m.fl. 2005). Inom biotopkarteringsmetodiken (Halldén m.fl. 2002) avgränsas delsträckorna för att erhålla så homogena biotoper som möjligt inom respektive delsträcka. Även i denna metodik klassas habitatets/delsträckans lämplighet för laxfiskungar (öring) subjektivt, dock i 4 klasser (Tabell 2). Den senare bedömningen grundar sig i första hand på bottenstruktur och strömförhållanden och i andra hand på skuggning och närmiljö.

Tabell 1. Subjektiv bedömning och bedömningsgrunder av elfiskelokalens lämplighet för laxfiskungar 0+, 1+ och 2+ sommartid (enligt den standardiserade elfiskemetodiken (Degerman m.fl. 2002)).

Lokalvärde	Lokalens värde som uppväxtbiotop för laxfiskungar 0+ - 2+ sommartid
0	Olämplig lokal (Avsaknad av grus/sten i lämplig storlek, avsaknad av ståndplatser, samt låg/hög vattenhastighet).
1	Intermediär lokal
2	Lämplig lokal (Lämpligt bottensubstrat, flera ståndplatser, samt vattenhastighet 0,2-1,0 m/s)

Tabell 2. Subjektiv bedömning av habitatets lämplighet som uppväxtplats för öringungar (enligt biotopkarteringsmetodiken, Halldén m.fl. 2002). Avser förutsättningarna för årsungar och fjolårsungar.

Habitatklass	Habitatets lämplighet som uppväxtplats för öringungar
0	Inte lämpligt uppväxtområde
1	Möjligt, men inte bra uppväxtområde
2	Tämligen bra uppväxtområde
3	Bra – mycket bra uppväxtområde

Då Halldén m.fl. (2005) undersökte hur väl de två metodikernas bedömning av lokalernas/habitatets lämplighet för öring överensstämde, fann man att det fanns vissa skillnader. Kompletterande elfisken genomfördes därför på samtliga habitatklasser enligt biotopkarteringsmetodiken (Tabell 2) i två referensvattendrag. Dessa habitat klassades även utifrån elfiskemetodikens lokalvärdesbedömning (Tabell 1). Genom att koppla samman dessa bedömningar fick Halldén m.fl. (2005) fram en modell för att överföra resultaten från övriga elfisken till de olika habitatklasserna i biotopkarteringen. Därmed kunde medeltätheter av öring i olika åldersgrupper i olika habitat beräknas. Då man jämförde detta utfall med utfallet från enbart referensvattendragen fann man dock att skattningarna inte matchade varandra. Då det vid smoltproduktionsmodellens skapande inte gick att avgöra vilket av dessa utfall som bäst representerade den generella fördelningen av öringungar i olika habitat gjordes en så objektiv bedömning som möjligt (Tabell 3). Denna baserades på

en sammanjämkning av medelvärdena på de procentuella fördelningarna från de ovan nämnda utfallen. Halldén m.fl. (2005) konstaterar dock att det krävs ytterligare undersökningar av öringtätheten i olika habitat från fler vattendrag för att kunna avgöra vilket av utfallen som bäst representerar fördelningen mellan olika habitat.

Vid en kontroll av elfisken i Emån på lokaler med kända habitatklasser enligt både elfiske- och biotopkarteringsmetodiken, samt empirisk kunskap utifrån över 25 års elfiskeundersökningar i Emån gjordes därför vissa anpassningar av de relativa tätheterna (Tabell 3). Som tidigare nämnts har antagandet gjorts i föreliggande rapport att fördelningen av laxungar i olika habitat är den samma för som för öringungar.

Tabell 3. Medeltätheter av laxfisk per 100 m² i de olika habitatkvalitetsklasserna, i jämförelse med habitatklass 3 som norm, som används vid beräkningarna av smoltproduktionen (Ursprungliga respektive Emåspecifika värden).

Habitat	Laxfisk 0+ (Ursprunglig)	Laxfisk 0+ (Emån)	Laxfisk 1+ (Ursprunglig)	Laxfisk 1+ (Emån)	Laxfisk >1+ (Ursprunglig)	Laxfisk >1+ (Emån)
0	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
1	57 %	10 %	28 %	10 %	24 %	10 %
2	93 %	32 %	58 %	21 %	56 %	21 %
3	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

2.3.3. Beräkning av medeltätheten per habitat i respektive vattendrag

För varje vattendrag beräknas medeltätheten av lax-/öringungar i de olika habitatkvalitetsklasserna primärt utifrån elfiskeresultat. För de habitatklasser som inte har undersökts i det specifika vattendraget beräknas medeltätheterna istället utifrån högsta undersökta habitatklass genom applicering av Tabell 3. Detta innebär att om ett vattendrag endast undersökts med avseende på en habitatklass kan värden för övriga habitatklasser ändå skattas. Vid beräkningarna av smoltproduktionen i Emån och dess tillflöden utgick beräkningarna ifrån habitatklass 3. Förutom att beräkna nuvarande tätheter av laxfisk (nuläge) i de olika habitatkvalitetsklasserna beräknades även de förväntade tätheterna av laxfisk vid ett referensförhållande. Detta skedde enligt följande kriterier:

- Lax: Elfisket har genomförts på lokalerna "Stonepool norra" eller "Ovan väg E22 s:a sid" vid Em den senaste 10 årsperioden (2008-2017).
- Öring: Elfisket har genomförts på lokaler i Emån före 1995 (dvs. före nedgången).
- Elfisket har genomförts under perioden juli-september, gäller både lax och öring.
- Elfisket har genomförts vid låg eller medelvattennivå, gäller både lax och öring.
- Elfisket har genomförts kvantitativt (>1 utfiske), gäller bara lax.
- Populationstypen har angivits som vandrande vid elfisket, gäller både lax och öring.

Eftersom data avseende havsvandrande laxfisk av förklarliga skäl (definitiva vandringshinder) saknades för Emåns huvudfåra respektive tillflödena uppströms Högsby kraftverk, samt Kvillen gjordes följande ställningstaganden: För Emåns huvudfåra uppströms Högsby användes samma tätheter som Emåns huvudfåra nedströms Högsby. För Emåns tillflöden uppströms Högsby, samt Kvillen skedde en omräkning av tätheterna i Emåns huvudfåra nedströms Högsby enligt en "nyckel" (Tabell 4). Denna "nyckel" togs fram genom att utgå ifrån genomförda elfisken i tillflödena under perioden 2008-2017 och

utifrån dessa beräkna de förväntade tätheterna enligt VIX (pred_nölax) för en havsvandrande laxfiskpopulation (avrinningsområde <100 km² och medelbredder från biotopkarteringen) och därefter relatera dessa tätheter till tätheterna i Emåns huvudfåra nedströms Högsby. Relativa tätheter under 100 % respektive över 150 % i tillflödena jämfört med Emåns huvudfåra nedströms Högsby ersattes dock med fasta värden på 100 % respektive 150 %.

Tabell 4. Den s.k. "nyckeln" för beräkning av tätheterna i Emåns tillflöden uppströms Högsby, samt Kvillen utifrån tätheterna i Emåns huvudfåra nedströms Högsby (ersatt värde inom parentes).

Vattendrag	Antal elfisken	Medel pred_nölax havsvandrande laxfiskpopulation (täthet/100 m ²)	Relativt Emån DO1-4
Emån DO1-4 (Mynningen – Högsby)	98	44,6	100 %
Kvillen	8	118,7	150 % (266 %)
Nötån	18	96,0	150 % (215 %)
Morån	21	63,2	142 %
Sällevadsån	31	63,1	141 %
Pauliströmsån	18	63,0	141 %
Gnyltån	18	37,2	100 % (83 %)
Lillån-Gnyltån	24	37,3	100 % (84 %)
Solgenån	5	97,7	150 % (219 %)

2.3.4. Skattning av vinteröverlevnad

För att kunna beräkna smoltproduktion krävs att skattningar görs på hur många av laxfiskungarna som förväntas överleva vintern. I smoltproduktionsmodellens ursprungsuppbyggnad användes enbart fasta värden för vinteröverlevnaden för laxfiskungar i olika åldrar (öring 0+: 50 % respektive öring >0+: 60 %), vilket baserades på Degerman m.fl. (2001). Vinteröverlevnaden varierar dock naturligt från år till år i olika vatten beroende på ett antal faktorer (t.ex. vattentemperatur, vattenföring och predation). Därför använder numera smoltproduktionsmodellen intervall (min. och max.) för vinteröverlevnaden för laxfiskungar i olika åldrar i olika habitattyper vid beräkningarna. Enligt litteratursammanställning gjord av Symons (1979) refererad i Hindar m.fl. (2007) var vinteröverlevnaden för laxungar 0+ 28-44 % respektive 35-65 % för laxungar >0+. Hindar m.fl. (2007) räknade utifrån detta med 50 % vinteröverlevnad för lax 0+ och för lax >0+ en årlig dödlighet på 50 % (40-60 %). Även Nordwall & Lundberg (2000) och Näslund (1998) refererade i Degerman m.fl. (2001) kommer fram till en vinteröverlevnad för laxungar 0+ på cirka 40-60 %. Baserat på ovanstående gjordes bedömningen att låta de ursprungliga värdena för vinteröverlevnaden för laxfiskungar variera ± 10 % (Tabell 5)

Tabell 5. Intervallgränser (min. och max.) för vinteröverlevnaden för laxfiskungar i olika åldrar och habitattyper som används vid beräkningarna av smoltproduktionen.

Habitatklass	Vinteröverlevnad laxfisk 0+		Vinteröverlevnad laxfisk >0+	
	Min.	Max.	Min.	Max.
0	40 %	60 %	50 %	70 %
1	40 %	60 %	50 %	70 %
2	40 %	60 %	50 %	70 %
3	40 %	60 %	50 %	70 %

2.3.5. Skattning av andelen laxfiskungar som förväntas bli smolt

Skattningar görs även på hur många av de överlevande laxfiskungarna som förväntas bli smolt nästkommande vår. Utgående ifrån havsöringbestånd med känd medelsmoltålder erhöll Degerman (opubl. material) ett samband mellan medelsmoltålder och storleken på längsta öring 0+ vid elfiske, samt klimatet representerat av vilken dag på året som våren kommer enligt SMHI. Detta gav sambandet:

Ekvation 3.

$$\text{Medelsmoltålder} = 3,756 - (0,03 * \text{storlek på största 0+}) + (0,012 * \text{vårdag})$$

Smoltifieringsgraden varierar dock naturligt från år till år i olika vatten beroende på ett antal faktorer, såsom vattentemperatur och vattenförling. Utifrån ovanstående och en bedömning baserad på empirisk kunskap använder därför smoltproduktionsmodellen vid beräkningarna i Emåns och dess tillflöden ett intervall (min. och max.) för smoltifieringsgraden för laxfisk 0+ och laxfisk 1+ (Tabell 6), samt fasta gränser för smoltifieringsgraden för laxfisk >1+. Medelsmoltåldern för lax respektive havsöring i Emån uppgår till 1,9 år respektive 2,0 år enligt ekvation 3 (baserat på elfisken under perioden 2008-2017), medan en medelsmoltålder på 1,5 år respektive 1,6 år erhålls för lax respektive havsöring baserat på tätheterna per habitklass och medelvärdena för respektive åldersklass avseende vinteröverlevnad (Tabell 5) och smoltifieringsgrad (Tabell 6). De senare värdena stämmer väl överens med den medelsmoltålder (1,6 år) som kan beräknas baserat på data, från fångst-återfångstförsök på smolt under två år med hjälp av en s.k. ”screw-trap” placerad i Emåns mynning, redovisad i Kriström m.fl. (2010). Enligt Degerman m.fl. (2001) och Svärdson (1967) refererade i Leonardsson m.fl. (2010) uppgår den maximala smoltåldern för Emåöring till tre år.

Tabell 6. Intervallgränser (min. och max.) och fasta värden för smoltifieringsgraden för laxfisk i olika åldrar och habitattyper som används vid beräkningarna av smoltproduktionen.

Habitatklass	Smoltifieringsgrad laxfisk 0+		Smoltifieringsgrad laxfisk 1+		Smoltifieringsgrad laxfisk >1+
	Min.	Max.	Min.	Max.	
0	10 %	30 %	90 %	99 %	99 %
1	10 %	30 %	90 %	99 %	99 %
2	10 %	30 %	90 %	99 %	99 %
3	10 %	30 %	90 %	99 %	99 %

2.3.6. Specifik smoltproduktion per habitatklass

Utifrån beräkningarna av medeltätheterna av laxfisk och skattningar av tätheterna per habitatklass (Tabell 3), vinteröverlevnaden (Tabell 5), samt smoltifieringsgraden (Tabell 6) beräknar smoltproduktionsmodellen en förväntad smoltproduktion per habitatklass, dvs. ett specifikt produktionstal för respektive delsträcka i vattendraget.

2.3.7. Lekområdeskompensation

Eftersom det vid verifierande fältundersökningar har konstaterats att smoltproduktionsmodellen i sin ursprungliga utformning generellt överskattade smoltproduktionen har smoltproduktionsmodellen kompletterats med en ny parameter för att kompensera för denna överskattning (Nilsson m.fl. 2010a). Denna s.k. "lekområdeskompensation" multipliceras enligt schablonvärden (Tabell 7) med det för delsträckan specifika produktionstalet. För att exemplifiera: om en delsträcka har bedömts som klass 3 med avseende på uppväxtområde för laxfisk (goda till mycket goda uppväxtområden), men endast klass 2 som lekområde (tämligen goda lekmöjligheter, men inte optimala) multipliceras det specifika produktionstalet med 75 %. Man bör dock vara medveten om att förutsättningarna för lek kan vara svåra att bedöma på grund av höga flöden, dåligt siktdjup och/eller långa avstånd i samband med biotopkarteringen. I dylika fall anges ofta den näst lägsta klassen (inga synliga lekområden, men rätt strömförhållanden), trots att dessa områden kan vara betydligt bättre i verkligheten. Dessutom kan en lyckad lek besätta tämligen stora ytor med laxfiskungar (Tabell 7).

Tabell 7. Värden för den s.k. "lekområdeskompensationen" som används vid beräkningarna av smoltproduktionen.

Lekområde enligt biotopkarteringsmetodiken		Schablonvärde "lekområdeskompensation"
Klass	Beskrivning	
0	Lekmöjligheter saknas	25 %
1	Inga synliga lekområden, men rätt strömförhållanden	50 %
2	Tämligen goda lekmöjligheter, men inte optimala	75 %
3	Goda till mycket goda lekmöjligheter	100 %

2.3.8. Skattning av migrationsmortaliteten

Eftersom de smolt som producerats i vattendraget måste vandra från uppväxtplatserna till tillväxtområdena kommer antalet smolt som slutligen når dessa att ha reducerats genom predation. Denna predation sker framförallt i lugnflytande habitat såsom sjöar, dammar och lugnflytande delar av vattendraget. Predatorerna utgörs främst av piscivora fiskar såsom gädda (*Esox lucius*), gös (*Stizostedion lucioperca*) och lake (*Lota lota*), samt i Emån även mal (*Silurus glanis*). Det är dock svårt att hitta relevanta data som är applicerbara för hur stor denna migrationsmortalitet egentligen är. Studier från både svenska vatten (Calles & Greenberg 2009, Nilsson, 2008, Olsson m.fl. 2001 och Olsson m.fl. 2009) och danska vatten (Jepsen m.fl. 1998 och Jepsen m.fl. 2000) har visat att migrationsförlusterna förmodligen är högre än de värden som användes i smoltproduktionsmodellens ursprungsversion. Därför använder smoltproduktionsmodellen numera min. och max. värden för migrationsmortaliteten i de olika habitattyperna. Vid de senaste

smoltproduktionsberäkningarna i Vätterns tillflöden användes emellertid lägre värden för migrationsmortaliteten i vattendragen än i basinställning av modellen, vilket motiverades med att migrationsförlusterna blev orimligt höga i dessa förhållandevis artfattiga vattendrag. Även vid smoltproduktionsberäkningarna i Emåns tillflöden har lägre värden för migrationsmortaliteten använts (Tabell 8 och Figur 2).

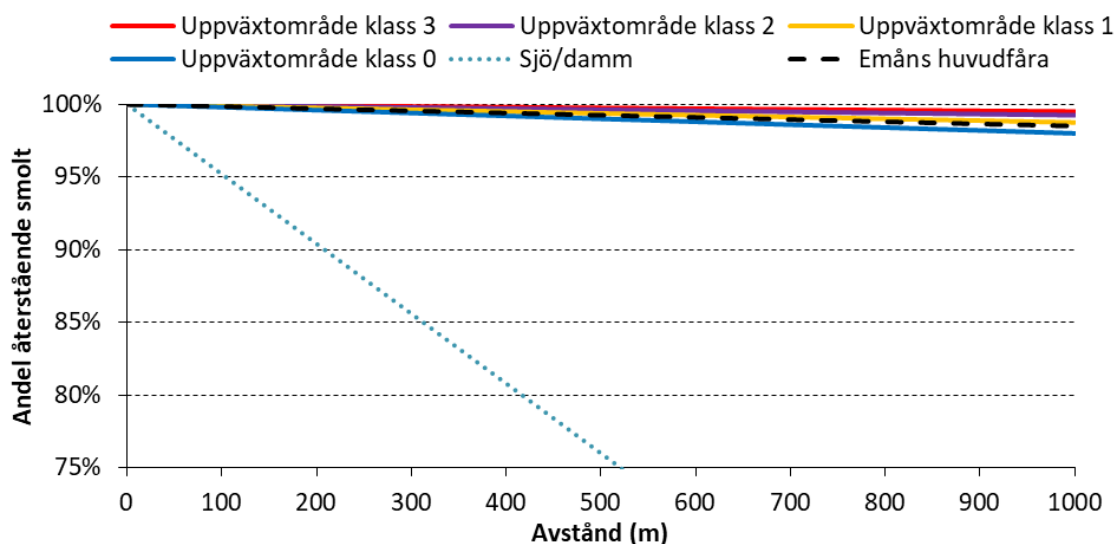
Tabell 8. Intervallgränser (min. och max., samt medelvärden) för migrationsmortaliteten/km i olika habitattyper som används vid beräkningarna av smoltproduktionen i Emåns tillflöden.

Habitat	Min. mortalitet/km	Medel mortalitet/km	Max. mortalitet/km
Habitatklass 0	1,0 %	2,0 %	3,0 %
Habitatklass 1	0,5 %	1,25 %	2,0 %
Habitatklass 2	0,5 %	0,75 %	1,0 %
Habitatklass 3	0,0 %	0,5 %	1,0 %
Sjöar/dammar/våtmarker	25 %	48 %	71 %

För Emåns huvudfåra, samt passager av kraftverk/dammar i huvudfåran har följande mortaliteter tillämpats (Tabell 9), vilket baseras på Leonardsson m.fl. (2010). Mortaliteten vid kraftverk/dammar avser den samlade mortaliteten anläggningen medför till följd av fördröjning, förhöjd predation uppströms och nedströms anläggningen, samt eventuell turbinpassage.

Tabell 9. Intervallgränser (min. och max., samt medelvärden) för migrationsmortaliteten/km i Emåns huvudfåra, samt passager av kraftverk/dammar som används vid beräkningarna av smoltproduktionen.

Habitat	Min.	Medel	Max.
Emåns huvudfåra (mortalitet/km)	0,8 %	1,5 %	2,2 %
Kraftverk/dammar (mortalitet/anläggning)	10 %	22,5 %	35 %



Figur 2. Redovisning av hur andelen återstående smolt påverkas av vilket habitat de vandrar igenom och längden på den sträckan som de vandrar. De bakomliggande värdena för migrationsmortaliteten/km är medelvärden för Emåns tillflöden respektive Emåns huvudfåra baserade på

Tabell 8 och Tabell 9.

2.3.9. Beräkning av mängden smolt som lämnar vattendraget

Med den beräknade smoltproduktionen per habitattyp (det s.k. produktionstalet), lekområdeskompensationen (Tabell 7) och migrationsmortaliteten (Tabell 8), samt data från biotopkarteringen som underlag beräknas slutligen mängden smolt som förväntas lämna respektive vattendrag. De data som används från biotopkarteringen är de olika delsträckornas areal (m²), längd (km) och habitatkvalitetsklass avseende lek- och uppväxtområden för laxfisk enligt biotopkarteringsmetodiken (Halldén m.fl. 2002). Beräkningen av antalet smolt som årligen produceras i vattendraget sker stegvis. Antalet producerade smolt från den längst uppströms belägna delsträckan beräknas utifrån ekvation 4. Observera att då det inte går att förutsäga var på respektive delsträcka som smolten har producerats (dvs. längst uppströms, i mitten eller längst nedströms på delsträckan) har antagandet gjorts att mortalitet föreligger på hälften av den aktuella delsträckans längd där smolten har producerats.

Ekvation 4.

Nettoproduktion_{delsträcka} = delsträckans areal * beräknad specifik produktion för habitatklassen - delsträckans areal * beräknad specifik produktion för habitatklassen * delsträckans längd/2 * delsträckans specifika mortalitet

Den s.k. nettoproduktionen (antalet smolt som förväntas lämna vattendraget) erhålls således genom att produktionen på den längst uppströms belägna delsträckan (delsträcka_n) först beräknas enligt ekvation 4. Dessa smolt reduceras därefter genom migrationsmortalitet på den nedströms belägna delsträckan (delsträcka_{n-1}). De återstående smolten adderas till de smolt som producerats på delsträckan nedströms (delsträcka_{n-1}) som beräknas enligt ekvation 4. Proceduren upprepas för samtliga delsträckor till vattendragets mynning (ekvation 5).

Ekvation 5.

Nettoproduktion_{vattendrag} = antal producerade smolt på delsträcka_n - antal producerade smolt på delsträcka_n * längd delsträcka_{n-1} * specifik mortalitet delsträcka_{n-1} + antal producerade smolt på delsträcka_{n-1}

Beräkningarna av mängden smolt som förväntas lämna vattendraget upprepas 100 gånger (s.k. bootstrapping) för att erhålla spridningsmått på de förväntade värdena avseende total smoltproduktion och åldersfördelning. Detta sker genom att modellen slumpvis varierar ovan beskrivna schablonvärden för vinteröverlevnad, smoltifieringsgrad samt migrationsmortalitet.

2.4. Populationsmodellens uppbyggnad

Följande avsnitt är en sammanfattande beskrivning av en förenklad populationsmodell där antalet återvändande lekmogna honor istället för smolt beräknas baserat på Kriström m.fl. (2010) och Calles m.fl. (2015). Sålunda avses dessa rapporter då ingen annan referens anges.

Den förenklade populationsmodellen utgörs av en ”räknesnurra” som för varje definierat/avgränsat delområde/delsträcka i ett vattendrag beräknar produktionen av årsyngel. Därefter genomgår dessa en serie av sannolikheter för överlevnad i vattendraget, vid nedströmsvandring, under havsvistelsen och slutligen vid uppvandring. Slutresultatet

blir ett värde på antalet återvändande lekmogna honor. Parameteriseringen (Tabell 10) har skett utifrån tidigare modelleringar (Kriström m.fl. 2010 och Leonardsson m.fl. 2010), kunskap om laxfiskars biologi (Degerman m.fl. 2001), elfiskeresultat från Emån, samt information om habitatens förekomst och kvalitet i Emån och dess tillflöden (Biotopkarteringsdata).

Tabell 10. Beskrivning av ingående parametrar och använda värden vid beräkningarna av antal producerade årsyngel (0+) och lekmogna honor (enligt Beverton-Holt) i Emåns huvudfåra, samt dess tillflöden med den förenklade populationsmodellen. Baserat på Calles m.fl. (2015), Kriström m.fl. (2010), Leonardsson m.fl. (2010) och Degerman m.fl. (2001).

Parameter	Förklaring	Värde		
		Nuläge	BMT	Referensförhållande
p ₀	Täthetsoberoende överlevnad vid låga tätheter.	40 %	40 %	40 %
K	Carrying capacity för årsyngel (0+), vilket motsvarar den maximala tätheten för den aktuella ytan (antal/m ²).	0,36	0,36	1,03
Fec	Medelfekunditet för alla honor.	8 000	8 000	8 000
p ₁	Överlevnad från 0+ till första lek.	0,048	0,048	0,048
p _s	Överlevnad för nedströmsvandrande smolt.	77,5 % (medel 65-90%)	92,5 % (medel 90-95 %)	99,5 % (medel 99-100 %)
p _R	Överlevnad för uppströmsvandrande lekfisk.	77,5 % (medel 65-90%)	92,5 % (medel 90-95 %)	99,5 % (medel 99-100 %)
FP	Antal passager/kraftverk mellan delområdet och havet.	Anges för respektive delområde/vattendrag.		

Ekvation 6.

$$N_{0+} = (U * K) / (K + U)$$

(Formel för beräkning av antal årsyngel, Beverton-Holt)

Ekvation 7.

$$N_F = K(V * Q - 2) / (2 * p_0 * Fec)$$

(Formel för beräkning av antal lekmogna honor, Beverton-Holt)

Ekvation 8.

$$U = p_0 * N_F * Fec$$

Ekvation 9.

$$Q = (p_s * p_R)^{FP}$$

Ekvation 10.

$$V = p_1 * p_0 * Fec$$

Precis som smoltproduktionsmodellen behandlar den förenklade populationsmodellen delområdena i Emån, samt tillflödena separat, dvs. beräknar nettot av antalet återvändande lekmogna honor för respektive område. För att beräkna antalet producerade smolt har slutligen en tillbakaräkning gjorts utifrån antalet producerade honor. Enligt Degerman m.fl. (2001) finns det studier från Norge och den svenska västkusten som visar att överlevnaden från det att smolten lämnar vattendraget tills dess att de återvänder för lek för första gången kan vara uppemot 30-40 %. Dessa värden förefaller något höga och bör nog ses

som en övre gräns. Därför har det vid beräkningarna antagits att överlevnaden från smolt till lekmogen fisk ligger i intervallet 10–30 % (medel 20 %). Vidare har det vid beräkningarna antagits en könsfördelning enligt följande: 60/40 (honor/hanar).

2.5. Beräkning av potentialen vid avveckling

För att kunna kvantifiera nyttan vid avvecklingar (utrivningar) av kraftverk/dammar gjordes antagandet att lek- och uppväxtområdena längs den tidigare indämda sträckan i genomsnitt förbättrades från klass 0 (Inte lämpligt lek-/uppväxtområde för laxfisk) till klass 2 (tämligen bra lek-/uppväxtområde för laxfisk), samt att medelbredden återgick till den samma som vattendraget direkt nedströms och uppströms indämningen enligt biotopkarteringen. Avgränsningen av de sträckor (längd och bredd) uppströms anläggningarna där det bedömdes ske en återställning till strömmande habitat skedde manuellt utifrån GIS-analyser, empirisk kunskap om Emåns vattensystem, samt erfarenheter från tidigare genomförda utrivningar.

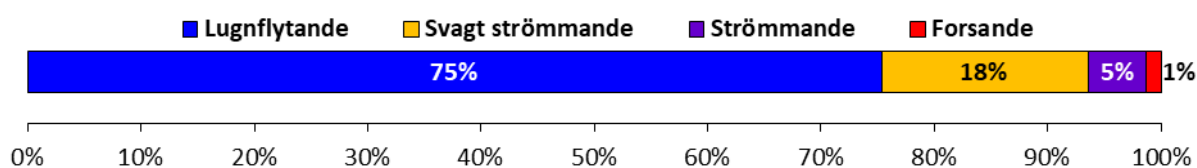
2.6. Avgränsningar/urval avseende Emåns huvudfåra och tillflöden

En indelning av Emåns huvudfåra (baserat på förekommande kraftverk/dammar) och dess tillflöden på sträckan mellan mynningen i Östersjön och Sjunnen gjordes enligt Tabell 11. Avgränsningen att endast räkna med produktion av smolt i Emåns huvudfåra upp till Sjunnen baserades på bedömningen att havsvandrande laxfisk historiskt sett aldrig passerat Sjunnen. Avgränsningen avseende tillflödena längs sträckan mynningen – Sjunnen baserades på att det i dessa fanns lek- och uppväxtområden (klass 2 och 3 enligt biotopkarteringen) inom 3 km från mynningen i Emåns huvudfåra med undantag för Solgenån som är det tillflöde som mynnar i Emåns huvudfåra närmast nedströms Sjunnen. Observera dock att detta urval inte utgör ett ställningstagande huruvida övriga tillflöden längs sträckan har utgjort reproduktionsområden för havsvandrande fisk eller deras värde för strömlevande öring, samt annan fisk och strömlevande fauna.

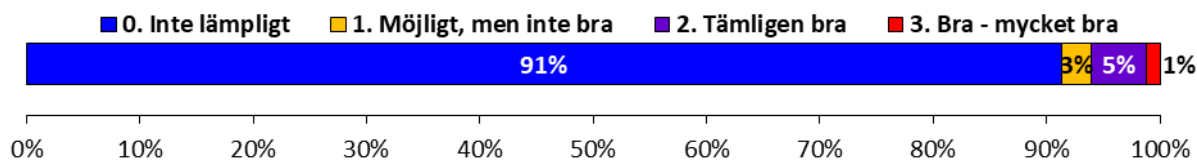
Tabell 11. Indelning av Emåns huvudfåra, samt dess tillflöden vid beräkningarna av smoltproduktionen.

Delområde	Beskrivning	Antal passager av dammar/kraftverk till havet
Emån DO 1	Mynningen - Karlshammar	0
Emån DO 2	Karlshammar - Finsjö nedre	1
Kvillen	Kvillen vid Fliseryd	2
Emån DO 3	Finsjö nedre - Finsjö övre	2
Emån DO 4	Finsjö övre - Högsby	3
Emån DO 5	Högsby - Blankaström	4
Nötån	Emån - Salen	4
Emån DO 6	Blankaström - Järnforsen	5
Morån	Emån - Tinnsjön	5
Sällevadsån	Emån - Flen	5
Emån DO 7	Järnforsen - Nyboholm/Kvillsfors	6
Pauliströmsån	Emån- Stora Bellen	6
Emån DO 8	Nyboholm/Kvillsfors - Turefors	7
Gnyltån	Emån- Fagerhultsjön	7
Lillån-Gnyltån	Gnyltån - Väg 897 vid Vrånghult	7
Emån DO 9	Turefors - Ädelfors	8
Emån DO 10	Ädelfors - Bruksgården	9
Emån DO 11	Bruksgården - Aspödammen	10
Emån DO 12	Aspödammen - Holsbybrunn	11
Solgenån	Emån - Solgen	11
Emån DO 13	Holsbybrunn - Sjunnen	12

Sett till hela sträckan mellan mynningen och Sjunnen utgörs Emåns huvudfåra idag till stor del av lugnflytande och svagt strömmande sträckor som inte utgör lämpliga habitat för laxfiskungar i dagsläget (Figur 3 och Figur 4).

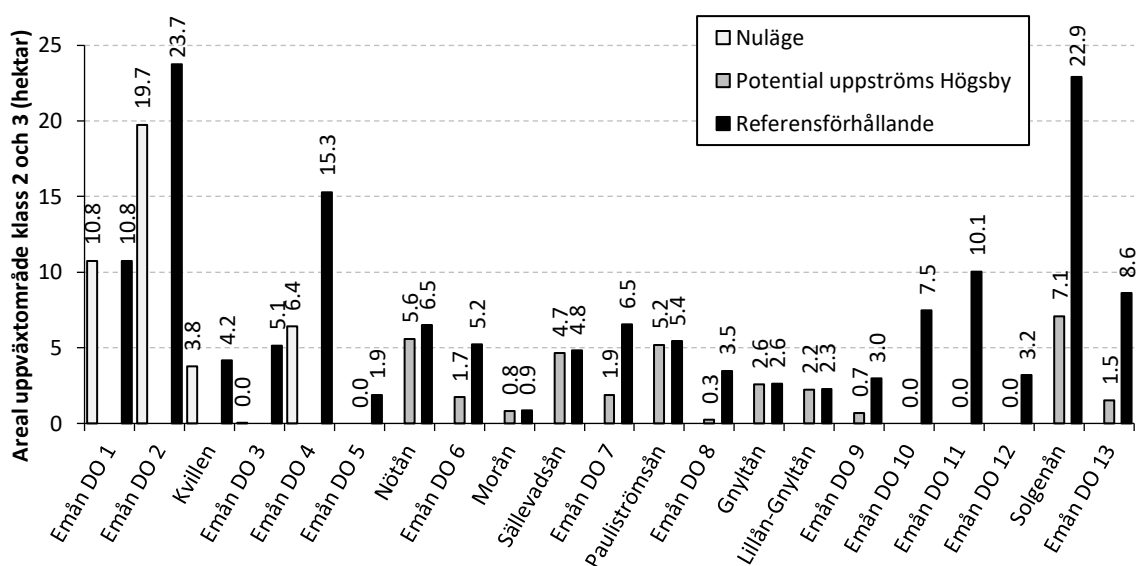


Figur 3. Redovisning av strömförhållanden (längdbaserat) i Emåns huvudfåra mellan mynningen och Sjunnen enligt biotopkarteringsdata.



Figur 4. Redovisning av tillgången på uppväxtområden (arealbaserat) i Emåns huvudfåra mellan mynningen och Sjunnen enligt biotopkarteringsdata.

Baserat på biotopkarteringsdata uppgår den i dagsläget (Nuläge) tillgängliga produktionsytan för havsvandrande laxfisk (uppväxtområde klass 2 och 3) i Emåns huvudfåra upp till Högsby kraftverk och Kvillen vid Fliseryd till cirka 41 hektar, medan den potentiella produktionsytan i Emåns huvudfåra mellan Högsby och Sjunnen, samt dess tillflöden på sträckan i dagsläget uppgår till sammanlagt cirka 34 hektar (Figur 5). Av de totalt cirka 75 hektar som i dagsläget är tillgängligt respektive beläget uppströms Högsby återfinns cirka 60 % i huvudfåran (cirka 43 hektar). Uppströms Högsby kraftverk återfinns emellertid cirka 80 % av produktionsytan i tillflödena. I ett scenario där samtliga kraftverk/dammar i Emåns huvudfåra och i tillflödena mellan mynningen och Sjunnen har avvecklats och strömsträckor har återskapats i tidigare indämda områden (Referensförhållande) skulle produktionsytan (uppväxtområde klass 2 och 3) öka till cirka 104 hektar i huvudfåran respektive cirka 50 hektar i tillflödena (Figur 5). Detta motsvarar cirka 4 gånger så mycket som den idag tillgängliga (Nuläge) produktionsytan i Emåns huvudfåra upptill Högsby och i Kvillen vid Fliseryd.



Figur 5. Redovisning av den i nuläget tillgängliga, samt den potentiella produktionsytan (uppväxtområde klass 2 och 3) uppströms Högsby kraftverk respektive den vid referensförhållandet (se definition ovan) möjliga produktionsytan (uppväxtområde klass 2 och 3) inom de olika delområdena i Emåns huvudfåra mellan mynningen och Sjunnen, samt i tillflödena längs sträckan baserat på biotopkarteringsdata.

2.7. Modellerade scenarion

För vart och ett av ovan avgränsade delområden/vattendrag (Tabell 11) beräknades därefter smoltproduktionen enligt de båda modellerna (smoltproduktionsmodellen och populationsmodellen) utifrån tre olika scenarion:

- **Nuläge:** Enligt nu rådande förutsättningar (tätheter av laxfisk: nuläge).
- **BMT:** Samtliga kraftverk/dammar i Emåns huvudfåra, samt i tillflödena, på sträckan mellan mynningen och Sjunnen, har försett med fiskvägar i uppströms och nedströms riktning som motsvarar bästa möjliga teknik (BMT), vilket motsvarar en total effektivitet ≥ 90 %. Dessutom har naturfåroarna vid kraftverken/dammarna tillgängliggjorts och försetts med minimitappningar som möjliggör full produktion (tätheter av laxfisk: samma som nuläge bortsett från att det nu förväntas en produktion av lax även i

Kvillen). Enligt Calles m.fl. beaktar begreppet total effektivitet både attraktion- och passageeffektivitet, dvs. utgörs av den andel av vandrande fiskar som finner fiskvägen och passerar igenom den.

- **Referensförhållande:** Inga kraftverk/dammar och återskapade strömsträckor i tidigare indämda områden i Emåns huvudfåra och i tillflödena, på sträckan mellan mynningen och Sjunnen, samt förväntade tätheter av havsvandrande fisk vid opåverkade förhållanden (tätheter av laxfisk: referensförhållande).

För att testa effekterna av olika åtgärds kombinationer vid kraftverk/dammar beräknades även ytterligare tre olika scenarion enligt smoltproduktionsmodellen utifrån olika ambitionsnivåer på åtgärderna:

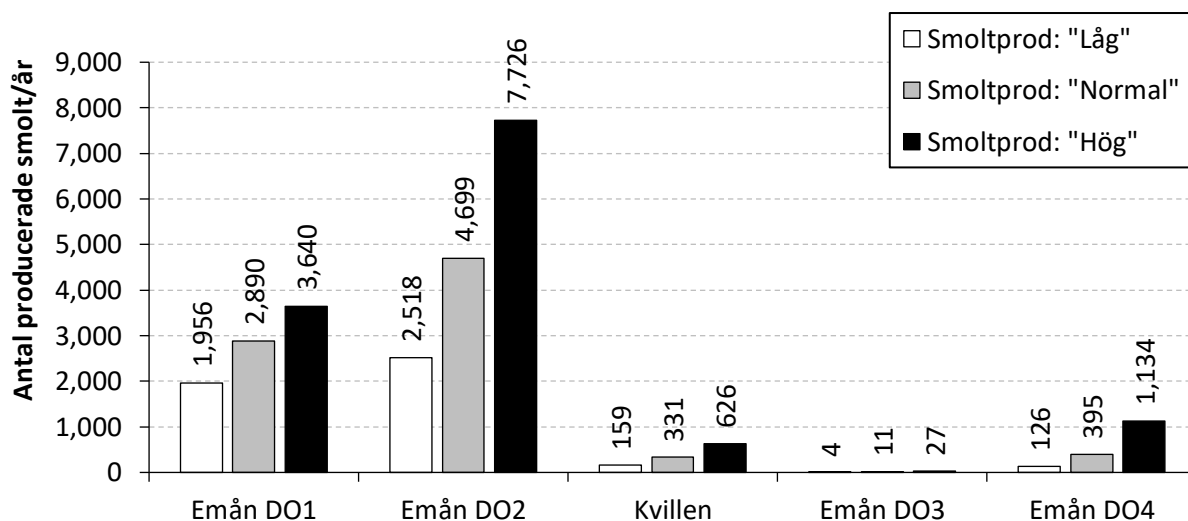
- **Låg ambitionsnivå:** BMT vid kraftverk/dammar i Emåns huvudfåra upp till och med Blankaström och i tillflödena upp till Järnforsen, samt avveckling av det nedersta kraftverket (Kvarnstugan) i Sällevadsån (tätheter av laxfisk: samma som nuläge bortsett från att det även förväntas produktion av både lax och havsöring i de för havsvandrande fisk tillgängliga tillflödena, Kvillen, Nötån, Morån och Sällevadsån).
- **Medelhög ambitionsnivå:** BMT vid kraftverk/dammar i Emåns huvudfåra upp till och med Turefors (inklusive minimitappning enligt BMT i naturfåran vid Ädelfors), samt avveckling av samtliga kraftverk/dammar i tillflödena på sträckan mellan mynningen och Turefors (tätheter av laxfisk: samma som nuläge bortsett från att det även förväntas produktion av både lax och havsöring i de för havsvandrande fisk tillgängliga tillflödena, Kvillen – Lillån-Gnyltån).
- **Hög ambitionsnivå:** BMT vid kraftverk/dammar i Emåns huvudfåra upp till och med Turefors samt avveckling av kraftverken/dammarna vid Ädelfors, Bruksgården, Aspödam och Holsbybrunn, samt samtliga kraftverk/dammar i tillflödena på sträckan mellan mynningen och Sjunnen (tätheter av laxfisk: samma som nuläge bortsett från att det även förväntas produktion av både lax och havsöring i samtliga tillflöden, Kvillen - Solgenån).

3. Resultat

3.1. Smoltproduktionsmodellen

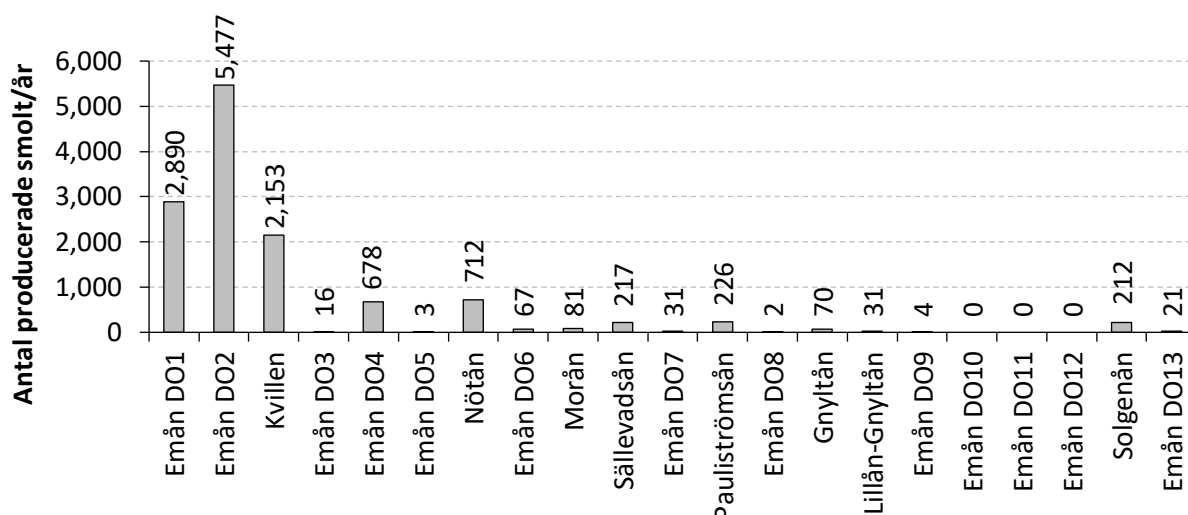
3.1.1. Nuläge, BMT och Referensförhållande

För närvarande uppgår den beräknade totala smoltproduktionen i Emån, från mynningen i Östersjön upp till Högsby, samt Kvillen vid Fliseryd (Figur 6) till cirka 8 300 smolt per år enligt smoltproduktionsmodellen (min. $\approx 4\,800$ smolt/år respektive max. $\approx 13\,200$ smolt/år). Detta motsvarar en produktion på cirka 2 laxfisksmolt/100 m² i uppväxtområde klass 2 och 3. Observera att den smoltproduktion som redovisas är det antal laxfisksmolt (lax och havsöring) som förväntas nå Östersjön från respektive delområde/vattendrag. Det vill säga att för delområdena 2–4 i Emån, samt Kvillen vid Fliseryd har migrationsförluster beräknats även för sträckorna i Emån nedströms respektive delområde/vattendrag.



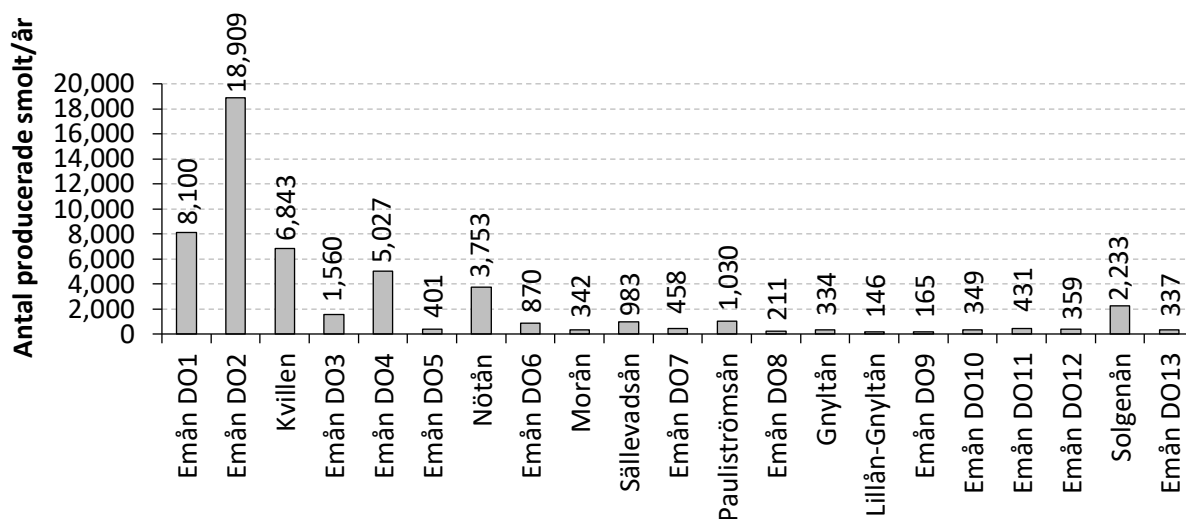
Figur 6. Redovisning av den beräknade nuvarande smoltproduktionen (i Emån, från mynningen i Östersjön upp till Högsby, samt Kvillen vid Fliseryd (scenario: Nuläge). Värdena som redovisas är min-, medel-, och maxvärden för smoltproduktionen (lax och havsöring), vilka baseras på 100 beräkningar enligt smoltproduktionsmodellen, och avser antalet lax- respektive öringssmolt som årligen når Östersjön från respektive delområde/vattendrag.

Om man enbart ser till produktionen av laxfisksmolt (lax och havsöring) skulle den beräknade produktionen öka till cirka 12 900 smolt årligen (min. $\approx 7\,500$ smolt/år respektive max. $\approx 23\,000$ smolt/år), vilket motsvarar en ökning med cirka 50 % av dagens beräknade smoltproduktion, om miljöförbättrande åtgärder motsvarande bästa möjliga teknik (BMT) genomfördes vid samtliga kraftverk och dammar i Emåns huvudfåra, samt i tillflödena (Figur 7). Det poängteras dock att andra vattenlevande organismer och vattenanknutna processer såsom sedimenttransport gynnas av att vandringshinder åtgärdas samt att hydrologiska restaureringsåtgärder genomförs.



Figur 7. Redovisning av den beräknade förväntade smoltproduktionen (lax och havsöring) i Emån, från mynningen i Östersjön upp till Sjunnen, samt åtta av Emåns tillflöden längs sträckan om miljöförbättrande åtgärder genomfördes vid samtliga anläggningar (kraftverk och dammar) i Emåns huvudfåra, samt tillflödena (scenario: BMT). Värdena som redovisas avser "normalproduktionen" och är medelvärden som baseras på 100 beräkningar enligt smoltproduktionsmodellen. Begreppet smoltproduktion avser antalet lax- och havsöringssmolt som årligen når Östersjön från respektive delområde/vattendrag.

Vid en fullskalig återställning av Emåns huvudfåra, samt tillflödena mellan mynningen Sjunnen (Referensförhållande), vilket innefattar en avveckling av samtliga kraftverk/dammar och restaurering av tidigare indämda sträckor, samt förväntade tätheter av havsvandrande fisk vid opåverkade förhållanden skulle smoltproduktionen uppgå till cirka 53 000 smolt/år (min. $\approx 30\,000$ smolt/år respektive max. $\approx 102\,000$ smolt/år) (Figur 8). Detta motsvarar en produktion på cirka 5 laxfisksmolt/100 m² i uppväxtområde klass 2 och 3 som förväntas nå Östersjön, det vill säga mer än en fördubbling jämfört med nuvarande förhållanden. Resultaten visar dels vilken potential som finns i from av indämda strömsträckor i Emåns huvudfåra, dels vilken negativ effekt de många (upp till 12 stycken) passagera av kraftverk/dammar medför.



Figur 8. Redovisning av den beräknade förväntade smoltproduktionen (lax och havsöring) i Emån, från mynningen i Östersjön upp till Sjunnen, samt åtta av Emåns tillflöden längs sträckan om samtliga anläggningar (kraftverk och dammar) i Emåns huvudfåra, samt tillflödena avvecklades (scenario: Referensförhållande). Värdena som redovisas avser "normalproduktionen" och är medelvärden som baseras på 100 beräkningar enligt smoltproduktionsmodellen. Begreppet smoltproduktion avser antalet lax- och havsöringssmolt som årligen når Östersjön från respektive delområde/vattendrag.

Förutom att jämföra delområdena/vattendragen med avseende på den beräknade smoltproduktionen kan det även vara värt att jämföra de s.k. produktionstalen, vilka utgör den specifika produktionen av smolt/m² per vattendrag och habitatklass (Tabell 12). Dessa produktionstal baseras dels på de laxfisktätheter som har observerats i samband med elfisken, dels medelvärden för tidigare redovisade värden för vinteröverlevnad (Tabell 5) och smoltifieringsgrad (Tabell 6) för olika åldersgrupper av laxfiskungar. Produktionstalen kan därmed sägas spegla de förutsättningar som råder i olika habitatklasser i vattendragen. Observera dock att produktionstalen oftast baseras på en sammanvägning av flera elfisken genomförda under flera år på olika lokaler, samt i vissa fall även expertbedömningar. Jämfört med andra jämförbara områden där smoltproduktionsberäkningar har genomförts (Tabell 13) uppvisar Emåns huvudfåra produktionstal för laxfisk (både lax och havsöring) som är lägre än de som observerats i Vätterns tillflöden (insjölevande öring) och Bråvikens tillflöden (havsöring). Detta förklaras dels av att laxfisktätheterna är naturligt lägre och artantalet högre i större vattendrag, dels av att det troligen föreligger en generell negativ påverkan/störning i Emån.

Tabell 12. Redovisning av de använda produktionstalen (antal producerad smolt/m²) per klass uppväxtområde och art vid smoltproduktionsberäkningarna i Emån och dess tillflöden (värdena avser scenario BMT, vilka är de samma som används vid nulägesberäkningarna bortsett från lax i Kvillen).

Vattendrag	Produktionstal (smolt/m ²) per klass uppväxtområde och art					
	1 Lax	1 Öring	2 Lax	2 Öring	3 Lax	3 Öring
Emåns huvudfåra (DO 1-13)	0,009	0,002	0,023	0,005	0,085	0,019
Kvillen	0,013	0,003	0,034	0,008	0,128	0,029
Nötån	0,013	0,003	0,034	0,008	0,128	0,029
Morån	0,012	0,003	0,032	0,007	0,121	0,027
Sällevadsån	0,012	0,003	0,032	0,007	0,120	0,027
Pauliströmsån	0,012	0,003	0,032	0,007	0,120	0,027
Gnyltån	0,009	0,002	0,023	0,005	0,085	0,019
Lillån-Gnyltån	0,009	0,002	0,023	0,005	0,085	0,019
Solgenån	0,013	0,003	0,034	0,008	0,128	0,029

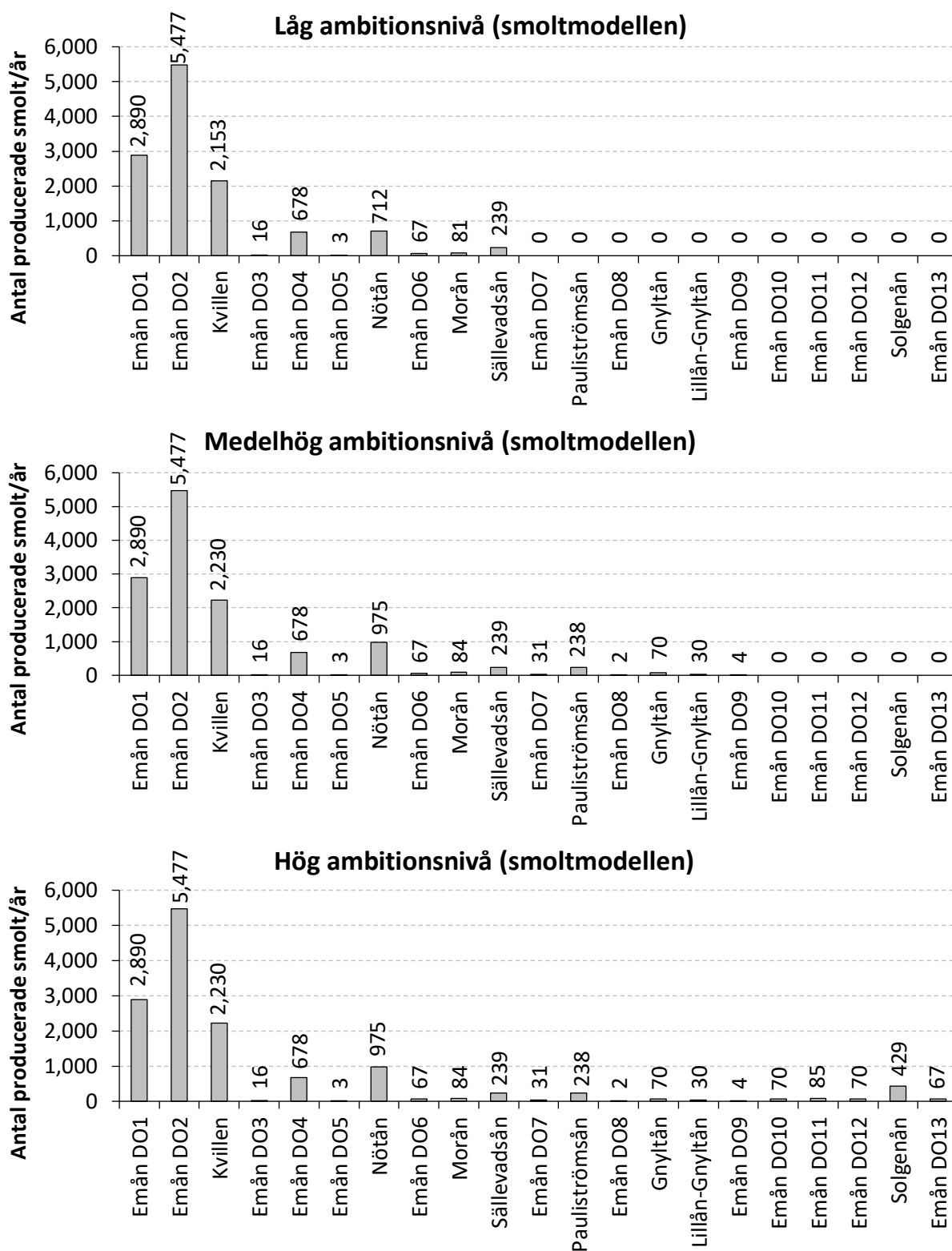
Tabell 13. Redovisning av medelvärdena för produktionstalen (antal producerade laxfisksmolt/m²) per klass uppväxtområde vid smoltproduktionsberäkningarna i Emåns huvudfåra (värdena avser scenario nuläge) jämfört med produktionstalen vid smoltproduktionsberäkningarna i Vätterns tillflöden 2015 och Bråvikens tillflöden 2016.

Klass uppväxtområde	Medel produktionstal (laxfisksmolt/m ²) Emåns huvudfåra	Medel produktionstal (insjööringsmolt/m ²) Vätterns tillflöden 2015	Medel produktionstal (havsöringsmolt/m ²) Bråvikens tillflöden 2016
1	0,01	0,09	0,07
2	0,03	0,16	0,15
3	0,10	0,24	0,24

3.1.2. Effekterna av olika åtgärds kombinationer

Vid en låg ambitionsnivå i åtgärdsarbetet som innebär BMT vid alla kraftverk/dammar i Emåns huvudfåra upp till och med Blankaström och BMT vid alla kraftverk/dammar i tillflödena upp till Järnforsen, samt avveckling av det nedersta kraftverket (Kvarnstugan) i Sällevadsån skulle smoltproduktionen uppgå till cirka 12 300 smolt/år efter genomförda åtgärder (Figur 9 överst). Skulle ambitionsnivån i åtgärdsarbetet höjas till en medelhög nivå, vilket innebär BMT vid alla kraftverk/dammar i Emåns huvudfåra upp till och med Turefors (inklusive minimitappning enligt BMT i naturfåran vid Ädelfors), samt avveckling av samtliga kraftverk/dammar i tillflödena på sträckan mellan mynningen och Ädelfors förväntas den årliga produktionen av lax- och havsöringsmolt öka till cirka 13 000 smolt (Figur 9 mellerst). Ökningen i förhållande till den låga ambitionsnivån består till stor del i att tillflödena mellan Järnforsen och Ädelfors (Pauliströmsån, Gnyltån och Lillån-Gnyltån) tillgängliggörs för havsvandrande laxfiskar, men även åtgärderna i Kvillen och Nötån bidrar.

Vid en hög ambitionsnivå i åtgärdsarbetet inom Emåns avrinningsområde som innebär BMT vid alla kraftverk/dammar i Emåns huvudfåra upp till och med Turefors och avveckling av kraftverken/dammarna vid Ädelfors, Bruksgården, Aspödam och Holsbybrunn, samt avveckling av samtliga kraftverk/dammar i tillflödena på sträckan mellan mynningen och Sjunnen skulle smoltproduktionen uppgå till cirka 13 800 smolt/år efter genomförda åtgärder (Figur 9 nederst). Solgenåns relativt sett stora bidrag till den ökade produktionen jämfört med de tillgängliggjorda områdena i Emåns huvudfåra uppströms Ädelfors (Emån DO10-13) beror dels på att arealerna uppväxtområden ökar med cirka 12 hektar vid utrivningen av Brunnshultadammen och Klintedammen, dels att produktionstalen är cirka en halv gång högre i Solgenån jämfört med Emåns huvudfåra.

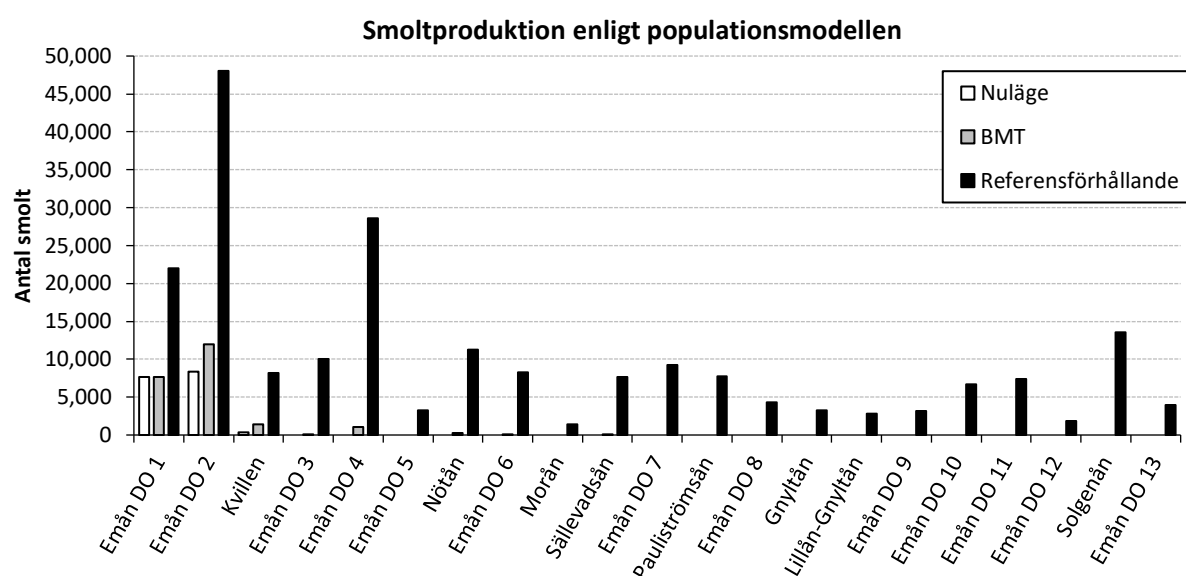


Figur 9. Beräknat antal producerade smolt (lax- och havsöring) enligt smoltproduktionsmodellen per delområde i Emån respektive tillflödena utifrån tre olika åtgärdsscenario (Låg ambitionsnivå: överst, Medelhög ambitionsnivå: mitten och Hög ambitionsnivå: nederst). Värdena som redovisas avser "normalproduktionen" och är medelvärden som baseras på 100 beräkningar enligt smoltproduktionsmodellen. Begreppet smoltproduktion avser antalet lax- och havsöringssmolt som årligen når Östersjön från respektive delområde/vattendrag.

3.2. Populationsmodellen

3.2.1. Nuläge, BMT och Referensförhållande

För närvarande (Nuläge) uppgår den beräknade totala smoltproduktionen i Emån, från mynningen i Östersjön upp till Högsby, samt Kvillen vid Fliseryd (Figur 10) till cirka 16 300 smolt per år enligt populationsmodellen, med valda inställningar (Tabell 10). Skulle åtgärder motsvarande BMT genomföras vid samtliga kraftverk/dammar i Emåns huvudfåra, samt i tillflödena på sträckan mellan mynningen och Sjunnen förväntas smoltproduktionen öka till cirka 22 400 smolt/år. Vid en återställning av Emåns huvudfåra och tillflödena (Referensförhållande) beräknar populationsmodellen med en produktion på cirka 213 000 smolt/år (Figur 10).



Figur 10. Beräknat antal producerade smolt enligt populationsmodellen per delområde i Emån respektive tillflödena utifrån tre olika scenarion (Nuläge, BMT och Referensförhållande).

4. Generella kommentarer avseende resultaten

Vid en jämförelse med den beräknade årliga smoltproduktionen i Emån baserat på fångsterna i de två smoltfällor som var placerade i Emåns mynning våarna 2007 och 2008 (Kriström m.fl. 2010) konstateras att den ”faktiska” produktionen av laxfisksmolt endast uppgår till drygt hälften av den beräknade produktionen enligt smoltproduktionsmodellen. Det poängteras dock att de förväntade effekterna av den biotopvård som genomfördes i Grönskogsområdet (Emån DO 2) under sommaren 2018 har inkluderats vid beräkningarna enligt smoltproduktionsmodellen.

I Emåns nedre delar, troligen framförallt vid Em, är förhållandena/förutsättningar speciella eftersom det sannolikt finns ett överskott av yngel på våren och i början av sommaren som ger upphov till s.k. 0-åriga smolt. Enligt Kriström m.fl. (2010) fångades flera tusen laxfiskyngel (öring och lax) som var på väg ut till Östersjön i den smoltfälla, s.k. ”screw-trap”, som var placerad i Emåns mynning. Baserat på mätningar av mikrokemianalys (strontium:kalcium) i otoliter från vuxen öring, fann de även stöd för denna observation, eftersom 13 % av de 23 analyserade individerna hade simmat ut till Östersjön en kort tid efter de kläckts. Samma fenomen har även observerats i vissa av Vätterns tillflöden.

Värt att nämna när det gäller effekterna av att tillgängliggöra nya delområden för laxfisk är att dessa är starkt kopplade till hur vandringshindren åtgärdas. Det kan till exempel uppstå väsentliga skillnader i hur stora arealer lek- och uppväxtområden som tillgängliggörs uppströms kraftverk/dammar och hur migrationsmortaliteten påverkas beroende på om det anläggs fiskvägar eller om utrivningar sker. Utifrån de s.k. produktionstalen, vilka utgör den specifika produktionen av smolt/m² per vattendrag och habitatklass, kan effekterna skattas genom att den tillgängliggjorda arealen vid en utrivning multipliceras med det specifika produktionstalet för den typ av uppväxtområden som ersätter den tidigare indämningen. Till exempel: En indämd sträcka återskapas genom en utrivning så att uppväxtområdena förändras från habitatklass 0 till att motsvara habitatklass 2.

Vidare har en anläggning som är belägen lågt nedströms i vattensystemet (dvs. närmare mynningen) en större negativ påverkan relativt sett jämfört med en anläggning som ligger längre uppströms. Vid en prioritering av vilka anläggningar som bör miljöanpassas enligt bästa möjliga teknik (BMT) respektive avvecklas bör man således fokusera dels på anläggningens läge i förhållande till avståndet från mynningen i havet, dels hur stora arealer strömvattenbiotoper som återskapas vid en eventuell avveckling.

Jämfört med både smoltproduktionsmodellen och den beräknade smoltproduktionen utifrån fångsterna i smoltfällorna förefaller det som att populationsmodellen överskattar smoltproduktionen vid samtliga scenarion. Däremot verkar populationsmodellen underskatta nyttan av att tillgängliggöra nya delområden i Emåns huvudfåra och tillflöden (BMT) jämfört med smoltproduktionsmodellen. Skillnaderna kan delvis förklaras av att det i populationsmodellen inte har inkluderats någon migrationsmortalitet i vattendragen utan enbart vid passagen av kraftverken/dammarna. Vidare förefaller det som att populationsmodellen reagerar för ”kraftigt” med avseende på passageeffektiviteten vid

kraftverk/dammar. Som exempel kan nämnas att om man vid beräkningarna av smoltproduktionen vid "Referensförhållanden" ändrar passageeffektiviteten från 99,5 % till 95 % för nedströmsvandrande smolt och uppströmsvandrande lekfisk minskar smoltproduktionen från cirka 213 000 smolt/år till cirka 95 000 smolt/år.

Smoltproduktionsberäkningar har sedan tidigare genomförts för Emån med hjälp av smoltproduktionsmodellen, (Ljung, 2008). Resultaten från dessa avviker dock från de nu beräknade värdena enligt smoltproduktionsmodellen. Skillnaderna kan till stor del förklaras av att smoltproduktionsmodellen har kompletterats med den så kallade "lekområdeskompensationen" sedan de första beräkningarna skedde. Kompletteringen av denna parameter tillkom efter validerande fältundersökningar som visade att smoltproduktionsmodellen överskattade produktionen i sin ursprungliga utformning (Nilsson, 2008 och Nilsson m.fl. 2010a).

Det poängteras även att en modell är en förenklad bild (ingen exakt kopia) av verkligheten. Det samma gäller den data som samlas in i samband med biotopkarteringen. Vidare är underlaget till beräkningarna av smoltproduktionen i vissa fall endast baserade på ett eller ett fåtal elfisken alternativt elfiskeresultat från andra liknande vattendrag. Detta innebär att den beräknade smoltproduktionen för vissa vattendrag som elfiskas sällan eller aldrig innehåller ett större mått av osäkerhet jämfört med de vattendrag som elfiskas mer frekvent. Således behöver resultaten tolkas med viss försiktighet, samt jämföras med andra informationskällor.

Slutligen påpekas att den här rapporten av praktiska, tidsmässiga och resursskäl enbart har fokuserat på produktionen av havsvandrande laxfisksmolt. Läsaren bör dock vara medveten att de biologiska värdena och funktionerna kopplade till strömmande habitat i vattendrag inte enbart kan kvantifieras utifrån en förväntad produktion av laxfisksmolt.

5. Erkännanden

Ett stort tack till Per Sjöstrand (Jönköpings Fiskeribiologi AB), Erik Degerman (SLU, Institutionen för Akvatiska Resurser, Sötvattenslaboratoriet), Anton Halldén (Länsstyrelsen i Jönköpings län), Peter Johansson (Emåförbundet), Anders Stenström (Länsstyrelsen i Jönköpings län) och Per Säverot (Länsstyrelsen i Jönköpings län) för hjälpen att anpassa modellen till förutsättningarna i Emån och dess tillflöden, samt synpunkter under arbets gång.

6. Referenser

6.1. Litteratur

- Bohlin T. 1977. Habitat selection and intercohort competition of juvenile sea-trout *Salmo trutta*. *Oikos* 29:112-117.
- 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*. Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/rra.1228
- Calles O, Degerman E, Wickström H, Christiansson J, Gustafsson S & Näslund I. 2013. Anordningar för upp- och nedströmspassage av fisk vid vattenanläggningar – Underlag till vägledning om lämpliga försiktighetsmått och bästa möjliga teknik för vattenkraft. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2013:14.
- Calles O, Gustafsson S, Olsson P & Gullberg K. 2015. Återställande av fiskvandring i Gästrikland - Fisksamhällen, kraftverk och åtgärders potential och kostnadseffektivitet i Gavleån. *Karlstad University Studies* 2015:48.
- Degerman E, Nyberg P & Sers E. 2001. Havsöringens ekologi. Fiskeriverket, Sötvattenlaboratoriet lokalkontoret i Örebro. Fiskeriverket informerar 2001:10.
- Degerman E, Sers B & Bergquist B. 2002. Elfiske i rinnande vatten, version 1:3. Handbok för miljöövervakning. Naturvårdsverket.
- Degerman E, Sers B & Magnusson K. 2010. Hur stora är årsungar och fjolårsungar vid elfiske? PM Svenskt Elfiskeregister, 8 s.
- Halldén A, Liliegren Y & Lagerkvist G. 2002. Biotopkartering - vattendrag, metodik för kartering av biotoper i och i anslutning till vattendrag. Länsstyrelsen i Jönköpings Län. Meddelande 2002:55.
- Halldén A, Asp T, Andersson L, Degerman E & Nöbbein F. 2005. Biotopkartering Vätterbäckar. Länsstyrelsen i Jönköpings Län. Meddelande 2005:34.
- Hindar K, Diserud O, Fiske P, Forseth T, Jensen A J, Ugedal O, Jonsson N, Sloreid S-E, Arnekleiv J O, Saltveit S J, Sægrov H & Sættem L F. 2007. Gytebestandsmål for laksebestander i Norge. *Nina Rapport* 226, 78 s.
- Jepsen N, Aarestrup K, Okland F & Rasmussen G. 1998. Survival of radio-tagged Atlantic salmo (*Salmo salar* L.) and trout (*Salmo trutta* L.) smolts passing a reservoir during seaward migration. *Hydrobiologia*, 371/372. 347-353
- Jepsen N, Pedersen S & Thorstad E. 2000. Behavioural interactions between prey (trout smolts) and predators (pike and pikeperch) in an impounded river. *Regulated Rivers research & management* 16: 189–198.
- Kriström B, Calles O, Greenberg L, Leonardsson K, Paulrud A, Ranneby B & Sandberg S. 2010. Vattenkraft – miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten, Slutrapport, etapp 3, Elforsk rapport 10:90.
- Leonardsson K, Calles O & Greenberg L. 2010. Populationsmodell för Emåöringen. Umeå: SLU och Karlstads universitet.
- Ljung M. 2003. Vätteröringen - Spelar avståndet från Vättern någon roll för Öringpopulationerna i fyra Vätterbäckar? Vätternvårdsförbundet, rapport nr 76.
- Ljung, M. 2008. Smoltproduktions- och lekfishsberäkningar i Emån. Länsstyrelsen i Jönköpings län, PM 2008:60

- Nilsson N. 2008. Validering av smoltproduktionsmodell för öring, *Salmo trutta*, i två av Vätterns tillflöden. Examensarbete magisterexamen i biologi 20p. Högskolan i Kalmar. Vätternvårdsförbundets FAKTA-serie: nr 4:2013, Del 1.
- Nilsson N. 2010. Utvärdering av resultat från 2008 års valideringsförsök av smoltproduktionsmodell för öring i Vätterns tillflöden. Vätternvårdsförbundets FAKTA-serie: nr 4:2013, Del 2.
- Nilsson N, Degerman E, Andersson H C & Halldén A. 2010a. Fisk i vattendrag och stora sjöar - Metoder för övervakning, Delrapport: Uppdatering av modell för beräkning av öringsmoltproduktion. Länsstyrelsen i Stockholms län, rapport 2010:07.
- Nilsson N, Degerman E, Eklöv A, Andersson H C & Halldén A. 2010b. Validering av modell för beräkning av öringsmoltproduktion i Kävlingeån, 1999-2005, och Åvaån, 2010. Vätternvårdsförbundets FAKTA-serie: nr 4:2013, Del 3.
- Nilsson N. 2017a. Beräkning av smoltproduktionen i Bråvikens tillflöden inom Norrköpings kommun. Jönköpings Fiskeribiologi AB på uppdrag av Norrköpings kommun. Opublicerat material.
- Nilsson N. 2017b. Beräkning av smoltproduktionen i Dammån och dess tillflöden. Jönköpings Fiskeribiologi AB på uppdrag av Länsstyrelsen i Jämtlands län. Opublicerat material.
- Nordwall F & Lundberg P. 2000. Simulated harvesting of stream salmonids with a seasonal life history. Paper IV In: Nordwall, F. 2000. Stream fish population response to harvesting. Doctoral dissertation, Silvestria 133, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå.
- Näslund I. 1998. Survival and dispersal of hatchery-reared brown trout, *Salmo trutta*, released in small streams. pp:59-76. In: I.G. Cowx.
- Olsson I, Greenberg L & Eklöv A. 2001. Effect of an artificial pond on migrating brown trout smolts. *North American Journal of Fisheries Management*, 21: 498-506.
- Olsson I, Eklöv A & Degerman E. 2009. Effekter av våtmarker och kraftverk på havsöringsmolt (*Salmo trutta* L.) och ål (*Anguilla anguilla* L.). Länsstyrelsen i Skåne län, rapport 2009:36.
- Sers B, Magnusson K & Degerman E. 2008. Jämförelsevärden från Svenskt Elfiskeregister. Information från Svenskt ElfiskeRegiSter Nr 1, 2008. Svenskt Elfiskeregister, Sötvattenslaboratoriet, Fiskeriverket.
- Svärdson G. 1967. Lax och öring i Em. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm No. 1967:07. 47 pp.
- Symons P E K. 1979. Estimated escapement of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) for maximum smolt production in rivers of different productivity. *J. Fish. Res. Board Can.* 36: 132-140.

6.2. Internet

- Lantmäteriets öppna data, tillgängliga via: <http://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/Kartor/oppna-data/>
- Länsstyrelsernas GIS-tjänster, tillgängliga via: <http://extra.lansstyrelsen.se/gis/Sv/Pages/default.aspx>
- SMHI Vattenwebb (SMHI), tillgänglig via: <http://vattenwebb.smhi.se/>
- Svenskt ElfiskeRegiSter (SERS), tillgängligt via: <http://www.slu.se/elfiskeregistret>
- Sveriges nationella databas för biotopkarteringar, tillgänglig via: <http://www.biotopkartering.se/sv/pages/default.aspx>

VattenInformationSystem Sverige (VISS), tillgängligt via: <http://www.viss.lansstyrelsen.se/>

7. Bilagor

7.1. Detaljerade resultat smoltproduktionsmodellen (Nuläge, BMT och Referensförhållande)

Delområde	Scenario	Fiskar t	Smoltprod "Låg"	Smoltprod "Normal"	Smoltprod "Hög"
Emån DO1	Nuläge	Lax	1587	2358	2980
Emån DO1	Nuläge	Öring	370	532	660
Emån DO1	BMT	Lax	1587	2358	2980
Emån DO1	BMT	Öring	370	532	660
Emån DO1	Referensförhålland	Lax	4243	6076	7699
Emån DO1	Referensförhålland	Öring	1326	2024	2636
Emån DO2	Nuläge	Lax	2038	3837	6312
Emån DO2	Nuläge	Öring	481	862	1415
Emån DO2	BMT	Lax	2791	4468	6677
Emån DO2	BMT	Öring	656	1009	1472
Emån DO2	Referensförhålland	Lax	10038	14223	20094
Emån DO2	Referensförhålland	Öring	3118	4686	6823
Kvillen	Nuläge	Lax	0	0	0
Kvillen	Nuläge	Öring	159	331	626
Kvillen	BMT	Lax	1007	1757	3048
Kvillen	BMT	Öring	226	396	676
Kvillen	Referensförhålland	Lax	2952	5164	8378
Kvillen	Referensförhålland	Öring	918	1679	2838
Emån DO3	Nuläge	Lax	3	9	22
Emån DO3	Nuläge	Öring	1	2	5
Emån DO3	BMT	Lax	5	13	26
Emån DO3	BMT	Öring	1	3	6
Emån DO3	Referensförhålland	Lax	565	1161	2109
Emån DO3	Referensförhålland	Öring	177	399	739
Emån DO4	Nuläge	Lax	103	323	926
Emån DO4	Nuläge	Öring	23	73	207
Emån DO4	BMT	Lax	279	553	1123
Emån DO4	BMT	Öring	62	125	244
Emån DO4	Referensförhålland	Lax	1872	3762	6884
Emån DO4	Referensförhålland	Öring	566	1265	2388
Emån DO5	Nuläge	Lax	0	0	0
Emån DO5	Nuläge	Öring	0	0	0
Emån DO5	BMT	Lax	1	3	7
Emån DO5	BMT	Öring	0	1	2
Emån DO5	Referensförhålland	Lax	102	298	706
Emån DO5	Referensförhålland	Öring	31	103	251
Nötån	Nuläge	Lax	0	0	0
Nötån	Nuläge	Öring	0	0	0

Delområde	Scenario	Fiskart	Smoltprod "Låg"	Smoltprod "Normal"	Smoltprod "Hög"
Nötån	BMT	Lax	221	581	1551
Nötån	BMT	Öring	50	131	344
Nötån	Referensförhålland	Lax	1345	2827	6008
Nötån	Referensförhålland	Öring	434	926	2028
Emån DO6	Nuläge	Lax	0	0	0
Emån DO6	Nuläge	Öring	0	0	0
Emån DO6	BMT	Lax	18	54	164
Emån DO6	BMT	Öring	4	12	36
Emån DO6	Referensförhålland	Lax	253	648	1510
Emån DO6	Referensförhålland	Öring	80	223	539
Morån	Nuläge	Lax	0	0	0
Morån	Nuläge	Öring	0	0	0
Morån	BMT	Lax	27	66	164
Morån	BMT	Öring	6	15	37
Morån	Referensförhålland	Lax	109	257	584
Morån	Referensförhålland	Öring	34	85	199
Sällevadsån	Nuläge	Lax	0	0	0
Sällevadsån	Nuläge	Öring	0	0	0
Sällevadsån	BMT	Lax	46	177	717
Sällevadsån	BMT	Öring	10	40	159
Sällevadsån	Referensförhålland	Lax	226	740	2463
Sällevadsån	Referensförhålland	Öring	71	243	833
Emån DO7	Nuläge	Lax	0	0	0
Emån DO7	Nuläge	Öring	0	0	0
Emån DO7	BMT	Lax	5	25	101
Emån DO7	BMT	Öring	1	6	23
Emån DO7	Referensförhålland	Lax	91	342	1153
Emån DO7	Referensförhålland	Öring	29	117	404
Pauliströmså	Nuläge	Lax	0	0	0
Pauliströmså	Nuläge	Öring	0	0	0
Pauliströmså	BMT	Lax	44	185	755
Pauliströmså	BMT	Öring	10	42	173
Pauliströmså	Referensförhålland	Lax	209	777	2746
Pauliströmså	Referensförhålland	Öring	64	253	927
Emån DO8	Nuläge	Lax	0	0	0
Emån DO8	Nuläge	Öring	0	0	0
Emån DO8	BMT	Lax	0	2	9
Emån DO8	BMT	Öring	0	0	2
Emån DO8	Referensförhålland	Lax	34	157	633
Emån DO8	Referensförhålland	Öring	10	54	225
Gnyltån	Nuläge	Lax	0	0	0
Gnyltån	Nuläge	Öring	0	0	0
Gnyltån	BMT	Lax	14	57	224
Gnyltån	BMT	Öring	3	13	50

Delområde	Scenario	Fiskar t	Smoltprod "Låg"	Smoltprod "Normal"	Smoltprod "Hög"
Gnyltån	Referensförhålland	Lax	73	251	844
Gnyltån	Referensförhålland	Öring	23	82	282
Lillån-	Nuläge	Lax	0	0	0
Lillån-	Nuläge	Öring	0	0	0
Lillån-	BMT	Lax	6	25	100
Lillån-	BMT	Öring	1	6	23
Lillån-	Referensförhålland	Lax	32	109	367
Lillån-	Referensförhålland	Öring	10	37	126
Emån DO9	Nuläge	Lax	0	0	0
Emån DO9	Nuläge	Öring	0	0	0
Emån DO9	BMT	Lax	1	4	19
Emån DO9	BMT	Öring	0	1	4
Emån DO9	Referensförhålland	Lax	24	123	504
Emån DO9	Referensförhålland	Öring	7	42	180
Emån DO10	Nuläge	Lax	0	0	0
Emån DO10	Nuläge	Öring	0	0	0
Emån DO10	BMT	Lax	0	0	0
Emån DO10	BMT	Öring	0	0	0
Emån DO10	Referensförhålland	Lax	53	260	1185
Emån DO10	Referensförhålland	Öring	16	89	423
Emån DO11	Nuläge	Lax	0	0	0
Emån DO11	Nuläge	Öring	0	0	0
Emån DO11	BMT	Lax	0	0	0
Emån DO11	BMT	Öring	0	0	0
Emån DO11	Referensförhålland	Lax	59	321	1462
Emån DO11	Referensförhålland	Öring	18	110	525
Emån DO12	Nuläge	Lax	0	0	0
Emån DO12	Nuläge	Öring	0	0	0
Emån DO12	BMT	Lax	0	0	0
Emån DO12	BMT	Öring	0	0	0
Emån DO12	Referensförhålland	Lax	38	267	1387
Emån DO12	Referensförhålland	Öring	12	92	500
Solgenån	Nuläge	Lax	0	0	0
Solgenån	Nuläge	Öring	0	0	0
Solgenån	BMT	Lax	27	173	1046
Solgenån	BMT	Öring	6	39	235
Solgenån	Referensförhålland	Lax	363	1676	7783
Solgenån	Referensförhålland	Öring	109	557	2707
Emån DO13	Nuläge	Lax	0	0	0
Emån DO13	Nuläge	Öring	0	0	0
Emån DO13	BMT	Lax	2	17	113
Emån DO13	BMT	Öring	1	4	25
Emån DO13	Referensförhålland	Lax	50	251	1195
Emån DO13	Referensförhålland	Öring	16	86	423

7.2. Detaljerade resultat smoltproduktionsmodellen (Låg-, Medelhög- och Hög ambitionsnivå)

Delområde	Scenario	Fiskart	Smoltprod "Låg"	Smoltprod "Normal"	Smoltprod "Hög"
Emån DO1	Låg ambition	Lax	1587	2358	2980
Emån DO1	Låg ambition	Öring	370	532	660
Emån DO1	Medelhög ambition	Lax	1587	2358	2980
Emån DO1	Medelhög ambition	Öring	370	532	660
Emån DO1	Hög ambition	Lax	1587	2358	2980
Emån DO1	Hög ambition	Öring	370	532	660
Emån DO2	Låg ambition	Lax	2791	4468	6677
Emån DO2	Låg ambition	Öring	656	1009	1472
Emån DO2	Medelhög ambition	Lax	2791	4468	6677
Emån DO2	Medelhög ambition	Öring	656	1009	1472
Emån DO2	Hög ambition	Lax	2791	4468	6677
Emån DO2	Hög ambition	Öring	656	1009	1472
Kvillen	Låg ambition	Lax	1007	1757	3048
Kvillen	Låg ambition	Öring	226	396	676
Kvillen	Medelhög ambition	Lax	1093	1820	2991
Kvillen	Medelhög ambition	Öring	244	410	670
Kvillen	Hög ambition	Lax	1093	1820	2991
Kvillen	Hög ambition	Öring	244	410	670
Emån DO3	Låg ambition	Lax	5	13	26
Emån DO3	Låg ambition	Öring	1	3	6
Emån DO3	Medelhög ambition	Lax	5	13	26
Emån DO3	Medelhög ambition	Öring	1	3	6
Emån DO3	Hög ambition	Lax	5	13	26
Emån DO3	Hög ambition	Öring	1	3	6
Emån DO4	Låg ambition	Lax	279	553	1123
Emån DO4	Låg ambition	Öring	62	125	244
Emån DO4	Medelhög ambition	Lax	279	553	1123
Emån DO4	Medelhög ambition	Öring	62	125	244
Emån DO4	Hög ambition	Lax	279	553	1123
Emån DO4	Hög ambition	Öring	62	125	244
Emån DO5	Låg ambition	Lax	1	3	7
Emån DO5	Låg ambition	Öring	0	1	2
Emån DO5	Medelhög ambition	Lax	1	3	7
Emån DO5	Medelhög ambition	Öring	0	1	2
Emån DO5	Hög ambition	Lax	1	3	7
Emån DO5	Hög ambition	Öring	0	1	2
Nötån	Låg ambition	Lax	221	581	1551
Nötån	Låg ambition	Öring	50	131	344
Nötån	Medelhög ambition	Lax	346	795	1866
Nötån	Medelhög ambition	Öring	78	179	419
Nötån	Hög ambition	Lax	346	795	1866

Delområde	Scenario	Fiskart	Smoltprod "Låg"	Smoltprod "Normal"	Smoltprod "Hög"
Nötån	Hög ambition	Öring	78	179	419
Emån DO6	Låg ambition	Lax	18	54	164
Emån DO6	Låg ambition	Öring	4	12	36
Emån DO6	Medelhög ambition	Lax	18	54	164
Emån DO6	Medelhög ambition	Öring	4	12	36
Emån DO6	Hög ambition	Lax	18	54	164
Emån DO6	Hög ambition	Öring	4	12	36
Morån	Låg ambition	Lax	27	66	164
Morån	Låg ambition	Öring	6	15	37
Morån	Medelhög ambition	Lax	27	69	181
Morån	Medelhög ambition	Öring	6	16	41
Morån	Hög ambition	Lax	27	69	181
Morån	Hög ambition	Öring	6	16	41
Sällevadsån	Låg ambition	Lax	48	195	734
Sällevadsån	Låg ambition	Öring	11	44	165
Sällevadsån	Medelhög ambition	Lax	48	195	734
Sällevadsån	Medelhög ambition	Öring	11	44	165
Sällevadsån	Hög ambition	Lax	48	195	734
Sällevadsån	Hög ambition	Öring	11	44	165
Emån DO7	Låg ambition	Lax	0	0	0
Emån DO7	Låg ambition	Öring	0	0	0
Emån DO7	Medelhög ambition	Lax	5	25	101
Emån DO7	Medelhög ambition	Öring	1	6	23
Emån DO7	Hög ambition	Lax	5	25	101
Emån DO7	Hög ambition	Öring	1	6	23
Pauliströmsån	Låg ambition	Lax	0	0	0
Pauliströmsån	Låg ambition	Öring	0	0	0
Pauliströmsån	Medelhög ambition	Lax	45	194	817
Pauliströmsån	Medelhög ambition	Öring	10	44	182
Pauliströmsån	Hög ambition	Lax	45	194	817
Pauliströmsån	Hög ambition	Öring	10	44	182
Emån DO8	Låg ambition	Lax	0	0	0
Emån DO8	Låg ambition	Öring	0	0	0
Emån DO8	Medelhög ambition	Lax	0	2	9
Emån DO8	Medelhög ambition	Öring	0	0	2
Emån DO8	Hög ambition	Lax	0	2	9
Emån DO8	Hög ambition	Öring	0	0	2
Gnyltån	Låg ambition	Lax	0	0	0
Gnyltån	Låg ambition	Öring	0	0	0
Gnyltån	Medelhög ambition	Lax	13	57	234
Gnyltån	Medelhög ambition	Öring	3	13	52
Gnyltån	Hög ambition	Lax	13	57	234
Gnyltån	Hög ambition	Öring	3	13	52
Lillån-Gnyltån	Låg ambition	Lax	0	0	0

Delområde	Scenario	Fiskart	Smoltprod "Låg"	Smoltprod "Normal"	Smoltprod "Hög"
Lillån-Gnyltån	Låg ambition	Öring	0	0	0
Lillån-Gnyltån	Medelhög ambition	Lax	6	25	101
Lillån-Gnyltån	Medelhög ambition	Öring	1	6	23
Lillån-Gnyltån	Hög ambition	Lax	6	25	101
Lillån-Gnyltån	Hög ambition	Öring	1	6	23
Emån DO9	Låg ambition	Lax	0	0	0
Emån DO9	Låg ambition	Öring	0	0	0
Emån DO9	Medelhög ambition	Lax	1	4	19
Emån DO9	Medelhög ambition	Öring	0	1	4
Emån DO9	Hög ambition	Lax	1	4	19
Emån DO9	Hög ambition	Öring	0	1	4
Emån DO10	Låg ambition	Lax	0	0	0
Emån DO10	Låg ambition	Öring	0	0	0
Emån DO10	Medelhög ambition	Lax	0	0	0
Emån DO10	Medelhög ambition	Öring	0	0	0
Emån DO10	Hög ambition	Lax	10	57	311
Emån DO10	Hög ambition	Öring	2	13	69
Emån DO11	Låg ambition	Lax	0	0	0
Emån DO11	Låg ambition	Öring	0	0	0
Emån DO11	Medelhög ambition	Lax	0	0	0
Emån DO11	Medelhög ambition	Öring	0	0	0
Emån DO11	Hög ambition	Lax	12	70	393
Emån DO11	Hög ambition	Öring	3	16	88
Emån DO12	Låg ambition	Lax	0	0	0
Emån DO12	Låg ambition	Öring	0	0	0
Emån DO12	Medelhög ambition	Lax	0	0	0
Emån DO12	Medelhög ambition	Öring	0	0	0
Emån DO12	Hög ambition	Lax	7	57	358
Emån DO12	Hög ambition	Öring	2	13	80
Solgenån	Låg ambition	Lax	0	0	0
Solgenån	Låg ambition	Öring	0	0	0
Solgenån	Medelhög ambition	Lax	0	0	0
Solgenån	Medelhög ambition	Öring	0	0	0
Solgenån	Hög ambition	Lax	62	350	1881
Solgenån	Hög ambition	Öring	14	79	422
Emån DO13	Låg ambition	Lax	0	0	0
Emån DO13	Låg ambition	Öring	0	0	0
Emån DO13	Medelhög ambition	Lax	0	0	0
Emån DO13	Medelhög ambition	Öring	0	0	0
Emån DO13	Hög ambition	Lax	9	54	310
Emån DO13	Hög ambition	Öring	2	12	69