



Länstyrelserna

Jönköpings, Västra Götalands, Örebro och Östergötlands län



Bilaga 3

Smoltmodell - Metodbeskrivning uppdatering
beräkningar av smoltproduktionen i Vätterns
tillflöden

Metodbeskrivning uppdaterade beräkningar av smoltproduktionen i Vätterns tillflöden.



Niklas Nilsson
Jönköpings Fiskeribiologi AB
Senast uppdaterad: 2023-06-20



Metodbeskrivning uppdaterade beräkningar av smoltproduktionen i Vätterns tillflöden.

Beställare/kontaktperson:

Karl-Magnus Johansson
Länsstyrelsen Jönköpings län
551 86 Jönköping
karl-magnus.johansson@lansstyrelsen.se

Konsult:

Jönköpings Fiskeribiologi AB
Gjuterigatan 9
553 18 JÖNKÖPING
www.fiskeribiologi.se

Författare:

Niklas Nilsson, Jönköpings Fiskeribiologi AB

Kvalitetsgranskning:

Peter Lindvall och Per Sjöstrand, Jönköpings Fiskeribiologi AB

Kartmaterial:

Lantmäteriets öppna data och Länsstyrelsernas GIS-tjänster

Foto framsida:

Läget för den tidigare Jönssonadammen i Tabergsåån som revs ut 2020 (Jönköpings Fiskeribiologi AB)

Sammanfattning

På uppdrag av länsstyrelsen i Jönköpings län har Jönköpings Fiskeribiologi AB genomfört förnyade beräkningar av smoltproduktionen i Vätterns tillflöden. Syftet är att skapa ett underlag för att kunna kvantifiera olika miljöförbättrande åtgärder vid kraftverk/dammar, samt biotopvårdsåtgärder på rensade sträckor inom Vätterns tillrinningsområde. Målsättningen är bland annat att resultaten ska kunna användas i samband med den nationella planen för omprövning av vattenkraften som kommer att genomföras i Vätterns tillrinningsområde med start 2026.

I föreliggande rapport presenteras den modell som ligger till grund för beräkningarna, samt vilka data som användes och för vilka vattendrag beräkningarna genomfördes. Resultaten presenteras separat främst i form av tabellverk och diagram.

Beräkningarna baserades på data från Svenskt Elfiskeregister (SERS) och Sveriges nationella databas för biotopkarteringar. För att kunna bedöma effekten av åtgärder vid artificiella vandringshinder (såsom kraftverk och dammar) delades vattendragen in i olika delområden där ett delområde utgjordes av samtliga delsträckor (enligt biotopkarteringen) mellan två definitiva vandringshinder. De anläggningar som var anmälda till den nationella planen för omprövning av vattenkraften lades även in i modellen för att kunna utvärdera effekterna på smoltproduktionen till Vättern till följd av olika åtgärder (miljöanpassning respektive avveckling) vid dessa anläggningar. För att ytterligare testa effekterna av olika åtgärds kombinationer vid kraftverk/dammar skapades även separata räknescenarier för några specifikt utvalda vattendrag.

Avslutningsvis påpekas att modelleringen av praktiska, tidsmässiga och resursskäl enbart har fokuserat på produktionen av insjövandrande öringsmolt. Läsaren bör dock vara medveten att de biologiska värdena och funktionerna kopplade till olika habitat i vattendrag inte enbart kan kvantifieras utifrån en förväntad produktion av öringsmolt. Rapporten utgör inte heller något ställningstagande avseende Vätterns tillflödets värde för strömlevande öring, samt annan fisk och strömlevande fauna.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING OCH BAKGRUND.....	3
2. MATERIAL OCH METOD.....	3
2.1. PROJEKTVATTENDRAG.....	3
2.2. UNDERLAGSMATERIAL	5
2.3. SMOLTPRODUKTIONSMODELLENS UPPBYGGNAD	5
2.4. BERÄKNING AV POTENTIALEN VID BIOTOPVÅRD, MILJÖANPASSNING RESPEKTIVE AVVECKLING 11	
2.5. MODELLERADE SCENARION.....	12
3. REFERENSER.....	13
3.1. LITTERATUR.....	13
3.2. INTERNET	15

1. Inledning och bakgrund

Det finns ett behov av att på ett jämförbart och kostnadseffektivt sätt kunna förutsäga produktionen av laxfisk i vattendrag. Inte minst med tanke på den omprövning av vattenkraften som kommer att genomföras i Sverige under den kommande 20 års perioden. Omprövningen syftar till att förse vattenkraften med moderna miljövillkor. Prövningen av vattenkraftsanläggningarna inom Vätterns tillrinningsområde är planerad till 2025. Idag sker ofta planering och prioritering av miljöförbättrande åtgärder utifrån den nytta som åtgärderna förväntas medföra. Ett sätt att göra detta 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 bland annat hur stora lek- och uppväxtområden som tillgängliggörs, samt hur migrationsmortaliteten förändras. Smoltproduktionen är således ett av flera sätt att kvantifiera nyttan/naturvärdet.

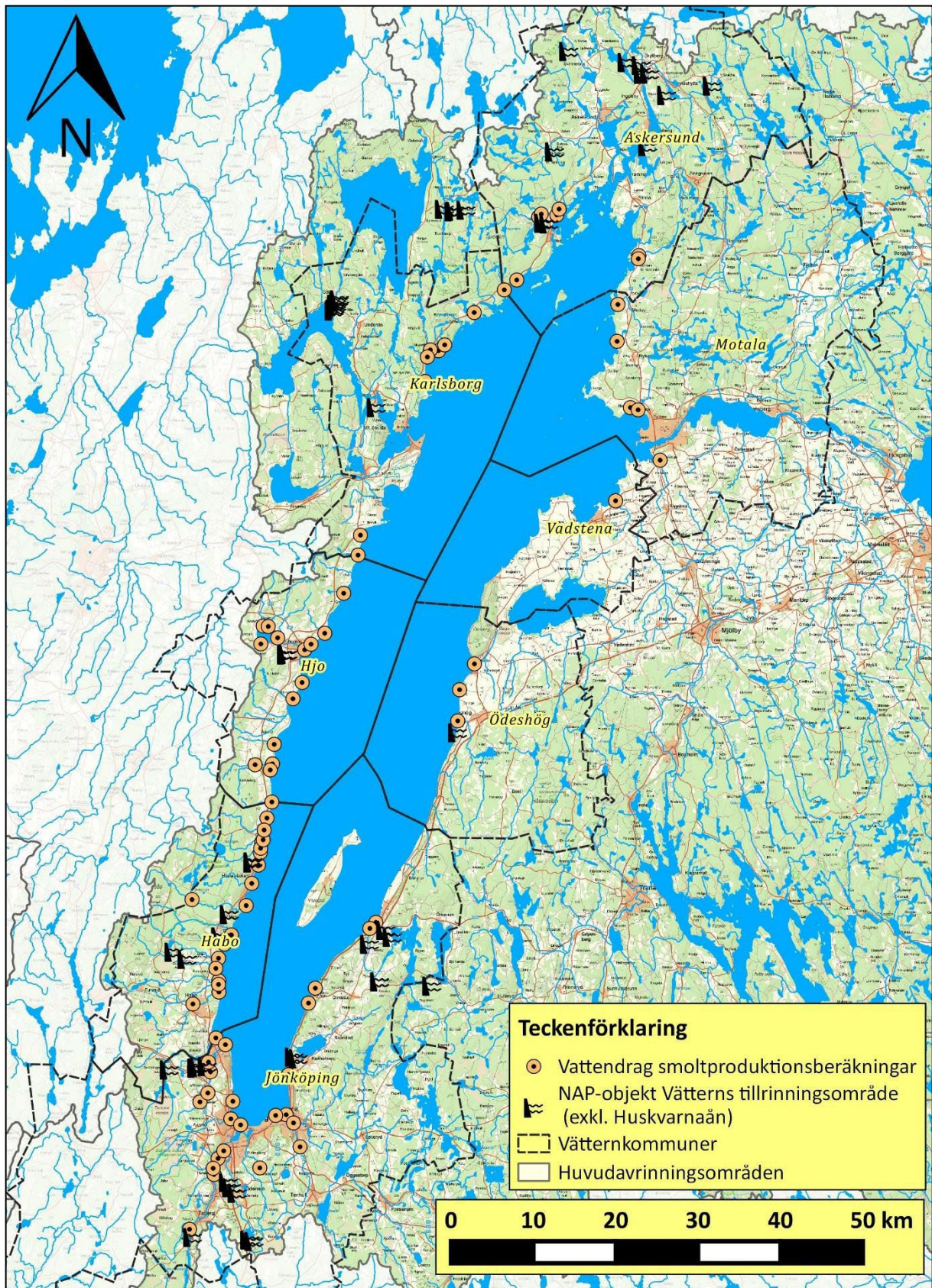
På uppdrag av Länsstyrelsen i Jönköpings län har Jönköpings Fiskeribiologi AB genomfört beräkningar av öringssmoltproduktionen i Vätterns tillflöden. Syftet är att skapa ett underlag för att kunna kvantifiera olika miljöförbättrande åtgärder vid kraftverk/dammar utifrån den nytta (tillkommande smoltproduktion) som åtgärderna förväntas medföra. Målsättningen är att resultaten ska kunna användas i samband med prövningen av vattenkraften inom Vätterns tillrinningsområde för att prioritera åtgärdsarbetet så att naturvärdesmål och miljökvalitetsnormer uppnås samtidigt som energivärdena inte påverkas mer än godtagbart.

I föreliggande rapport presenteras den modell som ligger till grund för beräkningarna, samt vilka data som användes och för vilka vattendrag beräkningarna genomfördes. Resultaten presenteras separat främst i form av tabellverk och diagram.

2. Material och metod

2.1. *Projektvattendrag*

De vattendrag som inkluderades vid smoltproduktionsberäkningarna var de av Vätterns tillflöden som bedömts utgöra historiska reproduktionsområden för sjölevande öring i Vättern i samband med tidigare genomförda beräkningar 2005, 2009 respektive 2015. En förnyad bedömning genomfördes även inför beräkningarna 2022. Totalt bedömdes cirka 85 vattendrag utgöra reproduktionsområden eller potentiella reproduktionsområden för Vätteröring. Majoriteten av dessa var belägna utmed den sydvästra sidan av Vättern i Jönköpings, Habo och Hjo kommuner (Figur 1). Vidare förekom det i drygt 10 av dessa vattendrag anläggningar som var anmälda till den nationella prövningen av vattenkraften.



Figur 1. Vätterns tillrinningsområde och tillflöden för vilka smoltproduktionsberäkningar genomfördes.

2.2. Underlagsmaterial

2.2.1. Elfiskedata

Från Svenskt Elfiskeregister (SERS) erhöles data avseende samtliga genomförda elfisken inom huvudavrinningsområde 067 (Motala ström). Utifrån ett antal urvalskriterier valdes därefter de elfisken ut som sedermera användes vid smoltproduktionsberäkningarna. Observera att det i vissa fall förekom expertbedömningar där enskilda elfisken av olika skäl exkluderades vid beräkningarna trots att de uppfyllde nedanstående kriterier:

- Elfiskena har skett under den senaste 10-årsperioden **2012-2021** (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 och inte representativa tätheter).
- Elfisket har utförts **kvalitativt** (1 utfiske) eller **kvantitativt** (två eller tre utfisken). Kvalitativa elfisken inkluderades trots att de ger osäkrare täthetsmått (baseras på fasta s.k. P-värden) eftersom miljöövervakningen av fisk i Vätterns tillflöden ofta sker genom kvalitativa elfisken.
- Populationstypen för öring är **vandrande** (stationär öring uppvisar oftast lägre tätheter eftersom både föräldrafiskar och avkomma delar på livsutrymmet).

I de fall då elfiskedata saknades användes istället data från närbelägna och liknande vattendrag. I några fall tillämpades även det underlag som använts vid tidigare smoltproduktionsberäkningar i Vätterns tillflöden.

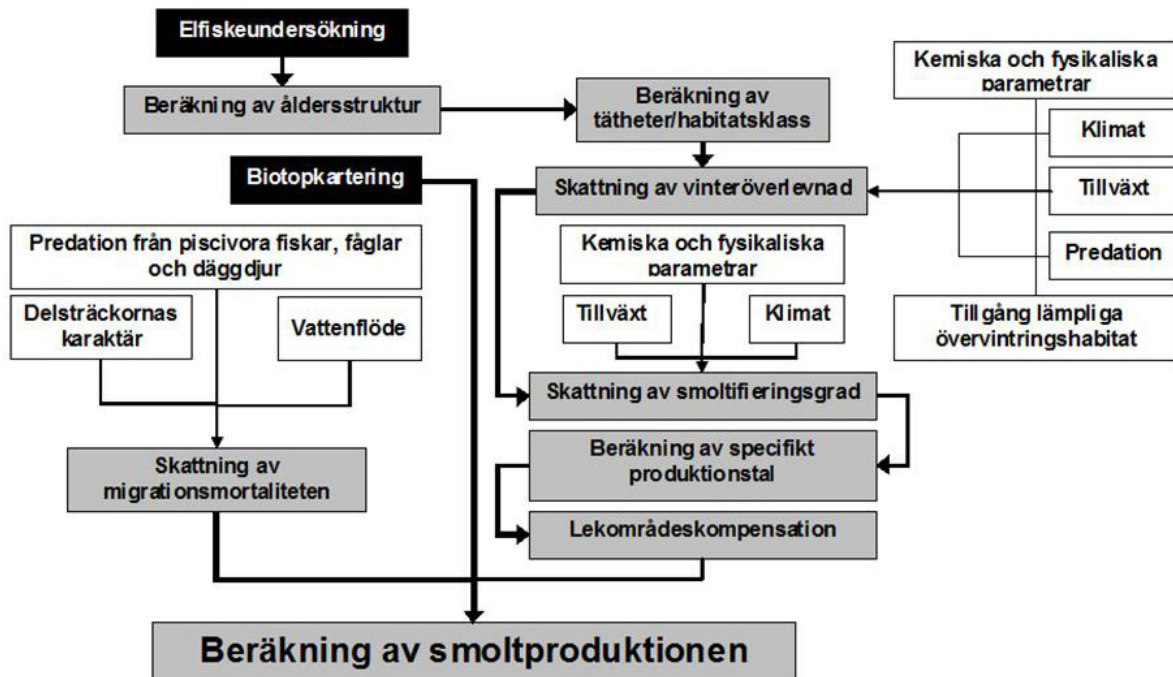
2.2.2. Biotopkarteringsdata

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 laxfisk, dels uppgifter om vandringshindrens passerbarhet för öring och om de bedömts var naturliga eller inte.

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 Vättern förutsatt att inget annat anges. För härledning av formler och mer ingående studier av smoltproduktionsmodellen hänvisas till ovan nämnda rapporter.

Bearbetningen av underlagsmaterialet, smoltproduktionsberäkningarna, samt uttaget av resultaten skedde med hjälp av Microsoft Access, Microsoft Excel, Statistica och QGIS.



Figur 2. 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 nettoproduktionen (det vill säga mängden smolt som når sina tillväxtområden). Figuren är hämtad från Nilsson m.fl. 2010b.

2.3.1. Beräkning av ålderstrukturen i laxfiskpopulationen

En av grundförutsättningarna för att smoltproduktionsmodellen ska kunna förutsäga smoltproduktionen korrekt är att laxfiskungarna kan avgränsas i åldersgrupperna 0+, 1+ och >1+ vid elfisket på sommaren/sensommaren/östen eftersom det är dessa som antas bli smolt nästkommande vår, det vill säga som 1-åriga, 2-åriga och 3-åriga smolt osv. 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+. 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 laxfiskungarna i 0+, 1+ och >1+. För de fiskar som utgör gruppen >1+ antas att de är i åldersintervallet 2+ till 4+ (ekvation 2). Tätheterna för denna grupp beräknas utifrån antagandet att fångsteffektiviteten vid elfiske är likartad för alla åldersgrupper >0+.

Ekvation 2.

$$\text{täthet } >1+ = 78 \% \text{ täthet } 2+, 20 \% \text{ täthet } 3+ \text{ och } 2 \% \text{ täthet } >3+$$

(Täthetsproportioner för öringar >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 & Sers, 2017) 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 & Sers, 2017)).

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. Nämnda sammanjämkning tillämpas alltså. Halldén m.fl. (2005) konstaterade dock att det krävdes ytterligare undersökningar av tätheten i olika habitat för att kunna avgöra vilket av utfallen som bäst representerar fördelningen mellan olika habitat.

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.

Habitat	Laxfisk 0+	Laxfisk 1+	Laxfisk >1+
0	0 %	0 %	0 %
1	57 %	28 %	24 %
2	93 %	58 %	56 %
3	100 %	100 %	100 %

2.3.3. Beräkning av medeltätheten per habitat i respektive vattendrag

För varje vattendrag beräknas i smoltmodellen medeltätheten av laxfiskungar 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. I de fall då det saknades elfiskedata användes värden från närliggande och liknande vattendrag. I samband med smoltproduktionsberäkningar antogs att tätheterna var likartade vid referensförhållandet (opåverkade förhållanden) jämfört med nuläget.

2.3.4. Skattning av vinteröverlevnad

För att kunna beräkna smoltproduktionen utifrån sommarens, sensommarens och höstens elfisken 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 (vattentemperatur, vattenföring och predation). Därför används numera istället 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 %. Mot bakgrund av detta tilläts de ursprungliga värdena för vinteröverlevnaden för laxfiskungar variera ± 10 % vid föreliggande beräkningar (Tabell 4).

Tabell 4. 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

I smoltproduktionsmodellen görs även skattningar 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 vattendrag beroende på ett antal faktorer, såsom vattentemperatur och vattenföring. Utifrån ovanstående och en bedömning baserad på empirisk kunskap användes därför vid beräkningarna i Vätterns tillflöden ett intervall (min. och max.) för smoltifieringsgraden för laxfisk 0+, samt fasta gränser för smoltifieringsgraden för laxfisk 1+ respektive >1+ (Tabell 5). Medelsmoltåldern för laxfisk (öring) i Vätterns tillflöden uppgår till 2,2 år enligt ekvation 3 (baserat på elfisken under perioden 2012-2021, samt att den meteorologiska vårens ankomst sker den 20 mars), medan en medelsmoltålder på 1,8 år erhålls baserat på tätheterna per habitklass och medelvärdena för respektive åldersklass avseende vinteröverlevnad (Tabell 4) och smoltifieringsgrad (Tabell 5). Baserat på data från åldersprover tagna på utvandrande öringsmolt i Knipån och Rödån i samband valideringen av smoltproduktionsmodellen våren 2007 (Nilsson, 2008) uppgick medelsmoltåldern till cirka 2,2 år.

Tabell 5. 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.		
0	3 %	10 %	90 %	99 %
1	3 %	10 %	90 %	99 %
2	3 %	10 %	90 %	99 %
3	3 %	10 %	90 %	99 %

2.3.6. Specifik smoltproduktion per habitatklass - produktionstal

Utifrån beräkningarna av medeltätheterna av laxfisk och skattningar av tätheterna per habitatklass (Tabell 3), vinteröverlevnaden (Tabell 4), samt smoltifieringsgraden (Tabell 5) beräknar smoltproduktionsmodellen en förväntad smoltproduktion per habitatklass, det vill säga ett specifikt produktionstal för respektive habitatklass 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 så kallade "lekområdeskompensation" multipliceras enligt schablonvärden (Tabell 6) med det för delsträckan specifika produktionstalet. För att exemplifiera: om en delsträcka har bedömts som klass 3 med avseende på uppväxtområde för laxfisk, men endast klass 2 som lekområde 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 6. 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 för att nå tillväxtområdena kommer antalet smolt som slutligen når Vättern 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 och lake, samt mal. 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 till exempel visat att migrationsförlusterna kan vara högre än de värden som användes i smoltproduktionsmodellens ursprungsversion. I en senare litteratursammanställning kom emellertid Thorstad m.fl. (2012) fram till att migrationsmortaliteten för nedströmsvandrande laxsmolt ligger mellan 0,3–7 % per km i vattendrag. För att till viss del hantera denna osäkerhet använder modellen min. och max. värden för migrationsmortaliteten i de olika habitattyperna. Vid smoltproduktionsberäkningarna i Vätterns tillflöden, som är förhållandevis artfattiga, tillämpades nedanstående värden för migrationsmortaliteten (Tabell 7 och Tabell 8).

Tabell 7. Intervallgränser (min. och max., samt medelvärden) för migrationsmortaliteten/km i olika habitattyper som används vid beräkningarna av smoltproduktionen.

Habitat	Min. mortalitet/km	Medel mortalitet/km	Max. mortalitet/km
Habitatklass 0	1,0%	6,5%	12,0%
Habitatklass 1	1,0%	3,0%	5,0%
Habitatklass 2	1,0%	2,0%	3,0%
Habitatklass 3	0,0%	0,5%	1,0%
Sjöar/dammar/våtmarker	25 %	48 %	71 %

För passager av kraftverk/dammar tillämpades följande mortaliteter (Tabell 8), vilket baserades 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 8. Intervallgränser (min. och max., samt medelvärden) för migrationsmortaliteten/km vid passager av kraftverk/dammar som används vid beräkningarna av smoltproduktionen.

Scenario	Mortalitet/anläggning		
	Min.	Medel	Max.
Nuläge	10 %	22,5 %	35 %
Miljöanpassning (fria vandringsvägar)	5 %	7,5 %	10 %
Avveckling (utrivning)	0 %	0 %	0 %

1.1.1. Beräkning av mängden smolt som lämnar vattendraget

Med den beräknade smoltproduktionen per habitattyp, det så kallade produktionstalet, lekomsrådeskompensationen (Tabell 6) och migrationsmortaliteten (Tabell 7), samt data från biotopkarteringen som underlag beräknas slutligen mängden smolt som förväntas lämna respektive delområde/vattendrag och slutligen nå Vättern. De data som användes från biotopkarteringen var 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 inom respektive delområde/vattendrag skedde stegvis i nedströms riktning. Antalet producerade smolt från den längst uppströms belägna delsträckan beräknades utifrån ekvation 4. Observera att då det inte gick att förutsäga var på respektive delsträcka som smolten har producerats (det vill säga längst uppströms, i mitten eller längst nedströms på delsträckan) gjordes antagandet att mortalitet förelåg längs hälften av den aktuella delsträckans längd där smolten har producerats.

Ekvation 4.

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

Den så kallade nettoproduktionen (antalet smolt som förväntas lämna delområdet/vattendraget och nå Vättern) erhöles genom att produktionen på den längst uppströms belägna delsträckan (delsträcka_n) först beräknades enligt ekvation 4. Dessa smolt reducerades därefter genom migrationsmortaliteten på den nedströms belägna delsträckan (delsträcka_{n-1}). De återstående smolten adderades till de smolt som producerats på delsträckan nedströms (delsträcka_{n-1}) som beräknades enligt ekvation 4. Proceduren upprepades för samtliga delsträckor till vattendragets mynning (ekvation 5).

Ekvation 5.

Nettoproduktion_{delområde/vattendrag} = antal producerade smolt på delsträcka_n * Exp(- specifik mortalitet delsträcka_{n-1} * längd delsträcka_{n-1}) + antal producerade smolt på delsträcka_{n-1}

1.2. *Beräkning av potentialen vid biotopvård, miljöanpassning respektive avveckling*

Nyttan av att genomföra biotopvårdsåtgärder i form av tillförsel av block, sten, grus och död ved på rensade sträckor skedde genom att klassningen av lekomsråden respektive uppväxtområden höjdes med en klass (till exempel från 1 till 2) på icke lugnflytande delsträckor med en resningspåverkan motsvarande klass 2 eller 3.

För att kunna kvantifiera nyttan vid en miljöanpassning respektive avveckling (utrivning) av ett kraftverk/damm gjordes antagandet att den totala passageeffektiviteten förbättrades och att migrationsmortaliteten därmed minskade respektive upphörde (se Tabell 8). 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. I förekommande fall antogs även att naturfårorna vid kraftverken/dammarna tillgängliggjorts och försetts med minimitappningar som möjliggör produktion.

För att kunna kvantifiera nyttan vid avvecklingar (utrivningar) av kraftverk/dammar gjordes även 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 Vätterns tillflöden, samt erfarenheter från tidigare genomförda utrivningar.

2.4. Modellerade scenarion

För vart och ett av de vattendrag och delområden som bedömts utgöra reproduktionsområde eller potentiellt reproduktionsområde för Vätteröring beräknades smoltproduktionen 500 gånger (för att erhålla spridningsmått) utifrån flera olika scenarion:

- **Nuläge:** Enligt nu rådande förutsättningar och tätheter av laxfisk.
- **Biotopvård:** Rensningspåverkade reproduktionsområden har återställts genom tillförsel av block, sten, grus och död ved.
- **Miljöanpassning (fria vandringsvägar):** Samtliga kraftverk/dammar har försett med fiskvägar i uppströms och nedströms riktning med en total effektivitet ≥ 90 %.
- **Referensförhållande:** Inga kraftverk/dammar och återskapade strömsträckor i tidigare indämda områden.

För att testa effekterna av olika åtgärds kombinationer i vissa av vattendragen med anläggningar anmälda till den nationella planen för omprövning av vattenkraften skapades även separata räknescenarior (Excel). Vid beräkningarna med dessa räknescenarior avgränsades i vissa fall delsträckorna i anslutning anläggningarna på ett mer noggrant sätt än vad som skett vid biotopkarteringen. Även ett mer ingående urval av inkluderade elfisken skedde i vissa fall.

3. Referenser

3.1. Litteratur

- Bergsten P, Nicolin S, Frisk A, Rydgren B, Poveda Björklund I & Stage J. 2014. Miljöförbättrande åtgärder i Mörrumsån och Ångermanälven, med fokus på havsvandrande arter. Utredning utförd av ÅF Industry AB på uppdrag av E.ON Vattenkraft Sverige AB.
- 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 & Magnusson K. 2010. Hur stora är årsungar och fjolårsungar vid elfiske? *PM Svenskt Elfiskeregister*, 8 s.
- Degerman E & Sers B. 2017. Undersökningstyp: Fisk i rinnande vatten - Vadningselfiske, Version 1:8 2017-04-25. Havs- och vattenmyndigheten.
- Halldén A, Liliégren 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 & Nöbbelein 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 lekfisksberäkningar 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*.
- Nilsson N. 2018. *Beräkning av smoltproduktionen i Emån och dess tillflöden, Delrapport i Pilotprojekt Emån – vattenkraft. Länsstyrelsen i Jönköpings län, meddelande 2018:33*.
- Noonan M, Grant J & Jackson C. 2012. *A quantitative assessment of fish passage efficiency. Fish and Fisheries, 2012:13, s. 450-464*.
- 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*.
- Svårdson 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.

Thorstad E B, Whoriskey F, Uglem I, Moore A, Rikardsen A H & Finstad B. 2012. A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. *Journal of Fish Biology* 81(2), 500-542.

3.2. Internet

Lantmäteriets öppna data, tillgängliga via: <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/oppna-data/>

Länsstyrelsernas Geodatakatalog, tillgängliga via: <https://ext-geodatakatalog.lansstyrelsen.se/GeodataKatalogen/>

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: <https://biotopkartering.lansstyrelsen.se/>

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

