

Institutionen för akvatiska resurser
Mårten Erlandsson, Ronny Fredriksson
och Ulf Bergström

2023-09-14

Havs- och vattenmyndigheten
Nationell marin kartering

PM – Kartläggning av uppväxtområden för piggvar i Östersjön

Bakgrund

Många fiskarter är starkt knutna till specifika livsmiljöer, speciellt i arternas yngre livsstadier. En stark koppling till specifika livsmiljöer innebär att de är extra känsliga för påverkan av de områdena. Förvaltningen av våra svenska kust- och havsområden har idag ett stort behov av heltäckande utbredningskartor av viktiga fiskhabitat. Kartorna utgör en viktig del i frågor som rör fiskförvaltning, områdesskydd och havsplanering, samt vid hantering av tillstånds- och dispensärenden. För att ta fram heltäckande kartor över arters utbredning används habitatmodellering där ett statistiskt samband beräknas mellan fångster från provfisken och viktiga miljövariabler som definierar lämpliga habitat från provfiskeplatserna. Genom att kombinera den statistiska modellering med heltäckande kartor över miljövariablerna som ingått i modellen skapas en kartprediktion av arternas utbredning.

Syftet med denna studie var att kartlägga lämpliga uppväxtområden för piggvar i Östersjön. Piggvaren är en saltvattenart med utbredningsområde längs nästan hela Europas kust från Medelhavet i söder upp till polcirkeln i norr. Populationen i Östersjön har anpassat sig till den lägre saliniteten vilket bland annat kan ses på att den optimala äggutvecklingen sker vid 15 psu till skillnad från i Nordsjön där den ligger på 20–35 psu (Florin, 2005). Det finns även genetiska skillnader mellan piggvar i Östersjön och Nordsjön (Karås & Klingsheim, 1997). Piggvaren fångas framförallt som bifångst i andra fisken, men kan lokalt vara en viktig kommersiell resurs för kustfisket i Östersjön. De kommersiella fångsterna var som störst i mitten på 90-talet men har sedan dess minskat kraftigt. Det internationella havsrådet ger sedan 2018 ingen rådgivning gällande piggvarsfångster, men dessförinnan gav de rådet att fångsterna bör minska. Den svenska rödlistan listar piggvaren som livskraftig. Helsingforskonventionen (HELCOM) bedömer arten som *nära hotad* och bedömer att fiske och övergödning är de största hoten för arten. Piggvaren är utpekad som en typisk art för flera av art- och habitatdirektivets marina naturtyper (1110, 1130, 1140, 1150, 1160), och används därmed som en indikator på gynnsam bevarandestatus för dessa naturtyper.

I denna studie kartläggs lämpliga piggvarhabitat i Östersjön med hjälp av ensemblemodellering, en teknik där ett flertal statistiska och maskinlärande modelleringsmetoder kombineras för att skapa så säkra utbredningskartor som möjligt. Modellerna som ingår i ensemblemodellen bygger på abundansdata från provfisken utförda åren 2004–2018 i Sverige, Finland, Estland och Lettland.

Metod

Datainsamling

Provfiskedata som har använts i modellerna har samlats mellan juni och september under åren 2004–2018, med redskapen landvad, liten bomtrål (anpassad för plattfiskyngel) och skubbhåv (push-net). Se <https://balance-eu.org/xpdf/balance-interim-report-no-32.pdf> för beskrivning av de olika provtagningsmetoderna. För alla tre redskap finns uppgifter på den bottenyta provtagningen täckt och därmed kan tätheter beräknas och jämföras mellan metoder. Vissa skillnader i fångstbarhet mellan redskapen kan förekomma, men eftersom det saknas uppgifter på fångstbarhet har inga korrekationer gjorts. Totalt har data samlats in från 2 299 provpunkter. För att de olika redskapen och undersökningstyperna ska vara jämförbara är alla fångster omräknade till antal individer per hektar provtagen bottenyta.



Figur 1. Karta över provfiskepunkter som ingår i studien. En cirkel innebär en provtagning med något av de redskap som ingått i studien, t.ex. ett notdrag. Då många av provtagningarna har skett nära varandra är svåra att särskilja i kartbilden. Grå punkter innebär fångst av piggvar, och transparenta punkter att ingen piggvar fångats.

Tabell 1. Provfiskepunkternas fördelning mellan länderna och frekvensen av piggvarsförekomst.

| Land | Förekomstfrekvens (%) | Medelantal per ha | Antal prover |
|---------------|-----------------------|-------------------|--------------|
| Sverige | 32,8 | 83 | 1 132 |
| Finland | 28,9 | 196 | 590 |
| Estland | 12,1 | 9 | 316 |
| Lettland | 22,3 | 25 | 261 |
| Totalt | 24,5 | 95 | 2 299 |

Modellering

Vid analysen beräknades sambandet mellan abundans av piggvarsyngel och ett antal miljövariabler med hjälp av statistisk modellering. Miljövariablerna har valts för att tillsammans beskriva lämpliga uppväxtområden för piggvar i Östersjön. Då studiens huvudsyfte var att ta fram heltäckande kartor över piggvarens uppväxtområden valdes enbart miljövariabler där heltäckande kartlager fanns tillgängliga.

Om två eller flera miljövariabler i en modell har för hög samvariation riskerar modellen att bli instabil (Daoud 2017). För att undersöka samvariationen mellan miljövariablerna gjordes ett korrelationstest och ett test av variance inflation factor (VIF). VIF-testet uteslöts variabler om någon variabel hade högre värde än 5 (Daoud 2017).

I de slutgiltiga modellerna användes följande fem miljövariabler som hade låg samvariation och bedömdes beskriva karaktären av viktiga uppväxtområden på ett bra sätt:

Djup. Djupet är en viktig variabel för att beskriva begränsningar i utbredningsområde framförallt på en lokal skala. Djupdata hämtades från fältmätningar och sjökortsdjup. För modellkalibreringen användes det fältuppmätta djupet och vid prediktering användes ett djupraster baserat på sjökortsdata. (Al-Hamdani och Reker, 2007).

Vågexponering. Vågexponeringen beskriver på en lokal skala hur skyddat området är från vågor vilket har en effekt på ett flertal olika variabler som är viktiga för piggvarens val av uppväxtområden. Ett par exempel är att graden av vågexponering påverkar bottensubstratet och förekomsten av vegetation. Vågexponeringen har beräknats med Simplified Wave Model, som tar hänsyn till stryklängd, refraktions- och diffraktionseffekter samt lokala vindförhållanden (Isæus 2004).

Lutning. Havsbottnens lutning är en annan fysisk variabel som tidigare har visat sig påverka piggvarens val av habitat. Lagret är framtaget inom EU-projektet BALANCE (Al-Hamdani och Reker, 2007) och förväntas beskriva effekter på en lokal skala.

Salinitet och temperatur. Östersjön har starka gradienter i både temperatur och salinitet, vilket har en stor påverkan på utbredningen av många arter (Bergström m.fl. 2016, 2018), då båda variablerna har starka fysiologiska effekter på fisk. Kartlagren som användes i modelleringen hämtades från EU:s plattform för öppna marina data, Copernicus, och är framtaget av SMHI. Ursprungsdatat har en lite grövre skala än övriga miljövariabler (2x2 km) och förväntas beskriva effekter på utbredningen av

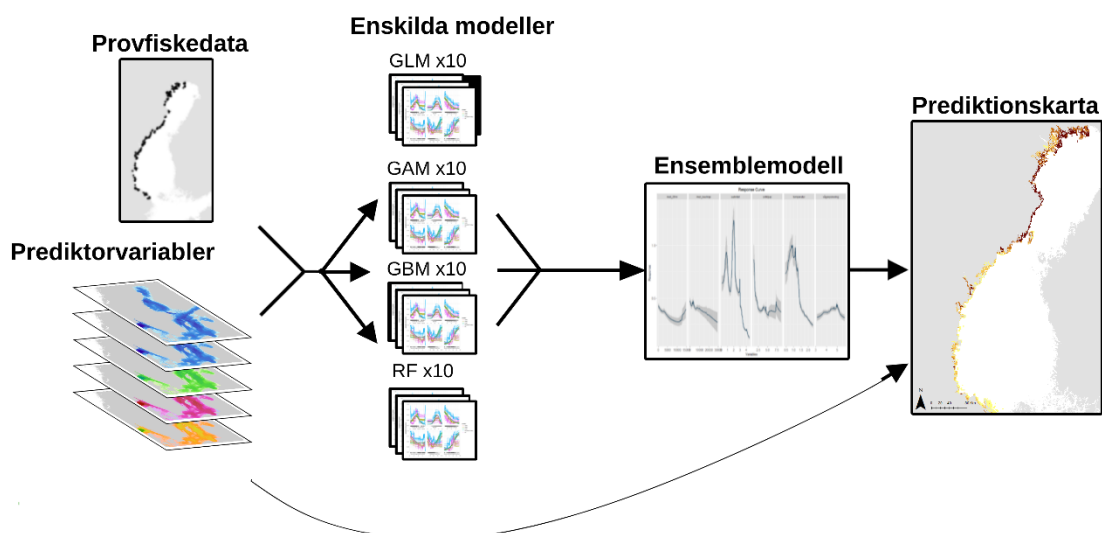
uppväxthabitat på en mer regional skala. Rastren för salinitet och temperatur representerar medelvärden på ytan mellan maj och september under åren 2015–2018.

En korrelationsmatris av de fem variabler som ingick i de slutgiltiga modellerna finns bifogad som bilaga. Utöver de miljövariabler som ingick i den slutgiltiga modellen testades även ett flertal ytterligare variabler som valdes bort antingen på grund av för låg kvalitet i lagret, för hög samvariation med övriga variabler eller för att de visade sig ha en obetydlig effekt på piggvarens uppväxthabitat. De övriga variabler som testades var siktdjup, latitud, sedimenttyp och avstånd till utsjön.

Statistiska analyser

För att beräkna sambandet mellan miljövariablerna och abundansen av piggvaryngel användes en kombination av fyra olika modelleringsmetoder som sedan kombinerades i en ensemblemodell. Genom att kombinera de konceptuellt olika modelleringsmetoderna till en ensemblemodell utnyttjas modelleringsteknikernas olika styrkor för att ge en högre precision och generalitet i prediktionerna. Modelleringen gjordes i det statistiska programspråket R med paketet SDM (Naimi och Araújo 2016). Av de fyra modelleringsmetoderna som valdes var två statistiska regressionsmetoder (generalized linear model, GLM, och generalized additive model, GAM) och två maskinlärande metoder baserade på klassifikationsträd (random forest, RF, och generalized boosted models, GBM).

I modelleringen slumpades 70% av provfiskepunkterna för att användas till kalibrering av modellen för att sedan valideras mot de återstående 30% av provfiskepunkterna. För varje enskild modelleringsteknik upprepades denna procedur tio gånger där slumpningen av data gjordes om för varje iteration. För att validera modellerna gjordes ett korrelationstest mellan provfiskedata och de predikterade värdena. De enskilda modellerna viktades efter korrelationsvärdet när de slogs samman till en ensemblemodell, där en modell med högre förklaringsgrad fick större inverkan på ensemblen än en modell med lägre förklaringsgrad.



Figur 2. Konceptuell bild över modelleringprocessen.

Miljövariablernas relativa betydelse för modellen testades genom ett så kallat permutationstest där originalmodellen med avseende på RMSE (root mean square error) jämfördes mot modeller där man

upprepade gånger slumpvis kastade om värdena mellan provpunkterna för respektive förklaringsvariabel. Den slumpvisa omkastningen upprepades 500 gånger per förklaringsvariabel och medelvärdet för dessa jämfördes sedan mot originalmodellen. Resultatet redovisas som 1 - medelvärdet för permutationerna där en liten skillnad mellan originalmodell och modell med omkastade värden innebär att variabeln påverkar modellen mindre än vad en variabel där skillnaden är större gör. Med hjälp av partiella responskurvor utvärderades även på vilket sätt de olika miljövariablerna påverkade abundansen av piggvar. Förhållandet mellan piggvar och respektive förklaringsvariabel i modellen visas genom att man plottar sambandet separat för respektive förklaringsvariabel medan övriga förklaringsvariabler hålls konstanta vid medelvärdet. Responskurvorna illustrerar vad som händer med abundansen av arten när förklaringsvariabeln ändras. Responskurvorna ger på så sätt en uppfattning om en arts ekologiska nisch i relation till de miljöfaktorer som ingår i modelleringen.

För att göra en utbredningskarta över piggvar användes ensemblemodellen tillsammans med heltäckande raster över varje miljövariabel.

Resultat

Den predikterade utbredningskartan över piggvarens uppväxtområden är baserad på en relativt stark modell med en förklaringsgrad på 47 %. De maskinlärande modelleringsteknikerna (RF och GBM) var de två enskilda modelleringsteknikerna med högst förklaringsgrad och som därmed hade det största bidraget till ensemblemodellen (Tabell 2). Ensemblemodellen hade något högre förklaringsgrad än någon av de enskilda modellerna.

Tabell 2. De enskilda modellernas och ensemblemodellens förklaringsgrad. Förklaringsgraden som anges är medelvärdet av R^2 för regressioner av de 10 iterationer där 70 % av fältdata används för att kalibrera modellen och predikterade värden från modellen testas mot resterande 30%.

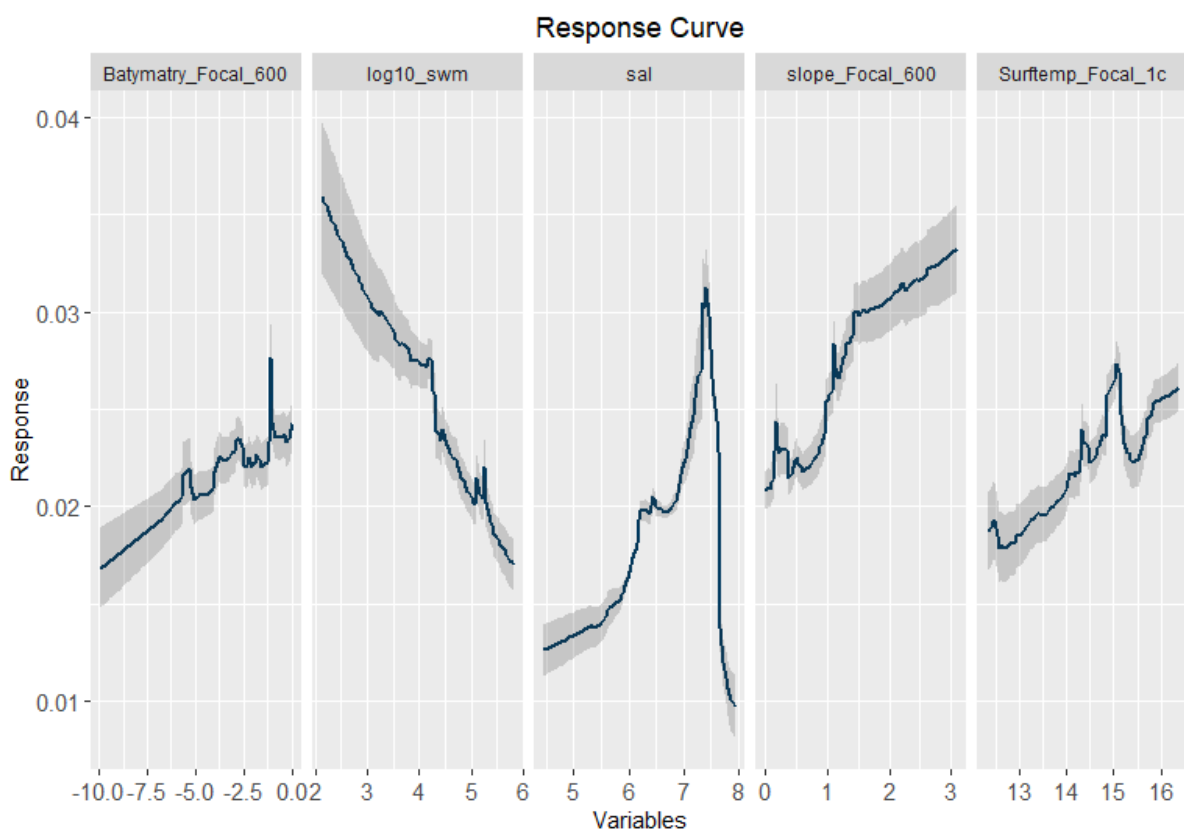
| Modell | Förklaringsgrad |
|---------------|------------------------|
| GLM | 0,2 |
| GAM | 0,23 |
| GBM | 0,38 |
| RF | 0,45 |
| Ensemble | 0,47 |

Vågexponering var den miljövariabel som bidrog mest till de enskilda modellernas förklaringsgrad, framför allt eftersom den var viktig i de två regressionsbaserade modelleringsteknikerna (Tabell 3). I de två maskinlärande modelleringsteknikerna var saliniteten och lutningen de viktigaste variablerna. Dessa två variabler hade samtidigt lägst påverkan på GLM- och GAM-modellerna.

Figur 3 visar en graf över den partiella responsen för respektive miljövariabel i ensemblemodellen. Baserat på responskurvorna så föredrar piggvaren grunda, skyddade och gärna varmare områden med högre salinitet.

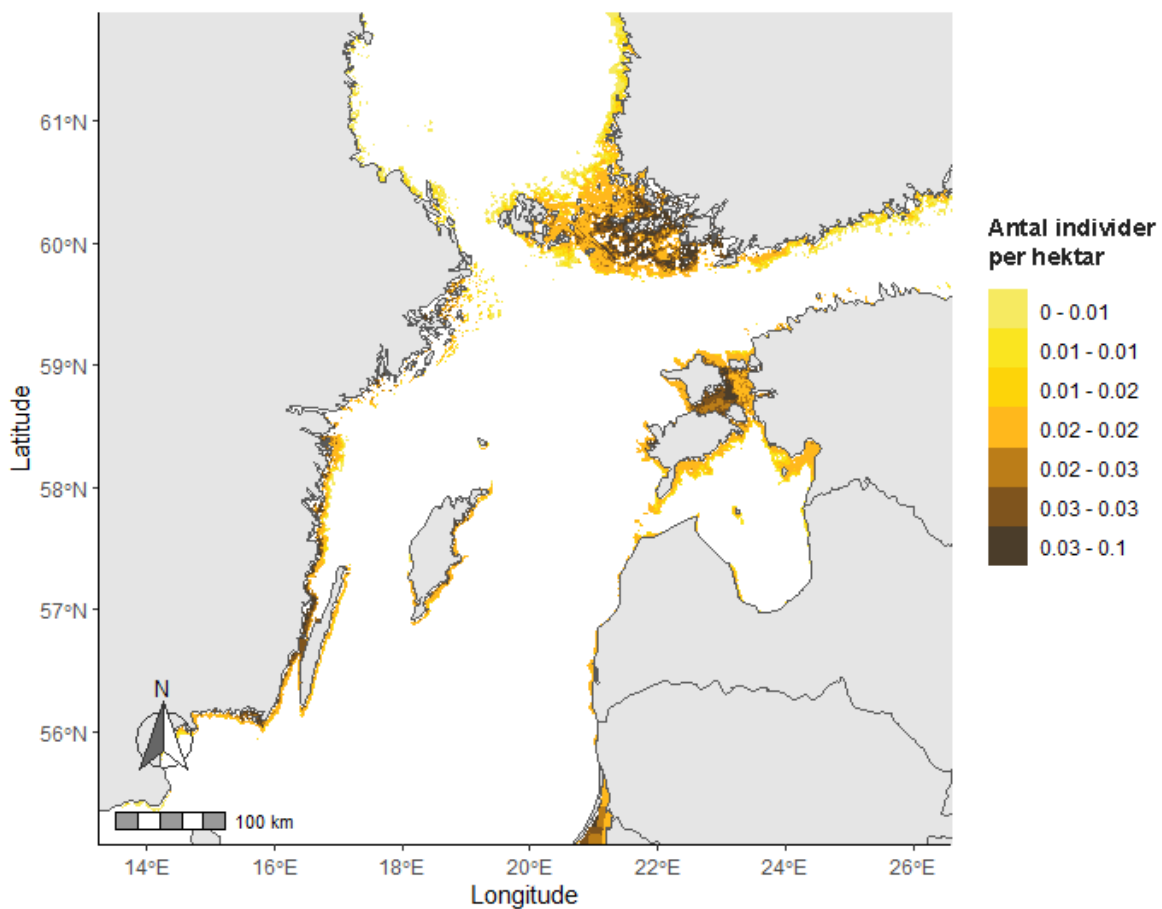
Tabell 3. Förklaringsvariablernas relativa bidrag, dels till de separata modellernas förklaringsgrad, samt i medeltal. De två viktigaste variablerna per modelltyp och i medeltal har markerats med fetstil.

| Förklaringsvariabel | GLM | GAM | GBM | RF | Medel |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Djup | 17 | 8 | 3 | 15 | 11 |
| Salinitet | 1 | 33 | 41 | 23 | 24 |
| Lutning | 16 | 10 | 33 | 22 | 20 |
| Temperatur | 17 | 6 | 20 | 20 | 16 |
| Vågexponering | 50 | 42 | 18 | 19 | 32 |



Figur 3. Partiella responskurvor för ensemblemodellen, för djup, vågexponering, salinitet, lutning respektive temperatur (vänster till höger). Partiella responskurvor för de enskilda modeller som ingår i ensemblemodellen redovisas i rapportens bilagor.

Figur 4 visar en utbredningskarta över piggvarens uppväxtområden som är predikerad utifrån ensemblemodellen och heltäckande raster av miljövariablerna. Kartan visar att Östersjöns största kontinuerliga områden med bra uppväxthabitat för piggvaren återfinns i finska och estniska kustområden. I Sverige finns de mest lämpade områdena framförallt i Kalmar och Blekinge län, men även lokalt bra områden på Gotland och längs Östergötlands kust.



Figur 4. Predikterad karta över utbredningen av piggvarens uppväxtområden baserad på ensemblemodellen. Skalan anger predikterad abundans (antal individer per hektar). Prediktionskartor för de enskilda modellerna som ingår i ensemblemodellen redovisas i rapportens bilagor.

Diskussion

Det dataset som modellen är baserad på kommer från en stor mängd olika undersökningar med olika syften, ofta andra än rumsliga analyser, vilket inte är optimalt för habitatmodellering. Provtagningen är bland annat geografiskt klustrad och det finns flera luckor i den geografiska täckningen längs den svenska kusten, bland annat i Kalmar sund, Öland och Blekinge. Detta medför att vi sannolikt saknar en spridning längs hela miljövariablernas variationsbredd vilket innebär att vissa mönster kan missas. De mest lämpade uppväxtområdena för piggvar predikterades till just dessa områden där vi saknar provtagningar, vilket medför en betydande osäkerhet i prediktionen. Kompletterande provtagningar i dessa områden är önskvärt och skulle ge en säkrare bild av hur bra uppväxtområden som finns i dessa miljöer jämfört med resten av studieområdet. En ytterligare aspekt som skulle förbättrat prediktionerna är om heltäckande raster över miljövariablerna fanns tillgängligt i högre upplösning. En viktig miljövariabel som saknas i tillräckligt bra kvalitet är ytsubstrat. Ytsubstratet har tidigare visats sig vara en viktig variabel i piggvarens val av uppväxthabitat, där ynglen främst förekommer på sandbotten (Martinsson & Nissling 2011). Med tillgång till högupplösta ytsubstratkartor kan precisionen i framtida prediktioner därför öka. Utöver det var piggvarförekomsten i provfiskena relativt låg, men trots dessa svagheter hade ensemblemodellen en relativt hög förklaringsgrad, vilket

indikerar att juvenil piggvar är starkt knuten till en specifik typ av livsmiljö och att de storskaliga geografiska utbredningsmönstren är tydliga. Kartprediktionen är mest lämpad för att få en överblick av piggvarens huvudsakliga uppväxtområden på en större skala, medan svagheter i dataunderlaget gör att prediktionerna inte är tillförlitliga på en lokal skala.

Samma dataset och till stor del samma miljövariabler som använts för att bygga modellerna har tidigare använts för att modellera skrubbskäddans uppväxtområden i Östersjön (Helcom, 2021). Kartprediktionerna över den geografiska fördelningen av piggvarens uppväxtområden är relativt lika skrubbskäddans. En stor skillnad i modellerna var dock att piggvaren föredrog skyddade områden med låg vågexponering medan skrubbskäddan visade på omvända preferenser.

Erkännanden

Referenser

Al-Hamdani, Z., och Reker J. 2007. Towards marine landscapes in the Baltic Sea. BALANCE Interim report 10. <http://www.balance-eu.org/>.

Bergström, L., Bergström, U., Olsson, J., & Carstensen, J. (2016). Coastal fish indicators response to natural and anthropogenic drivers - variability at temporal and different spatial scales. *Estuaries, Coastal and Shelf Science*, ss. 62-72.

Bergström, L., Karlsson, M., Bergström, U., Pihl, L., & Kraufvelin, P. (2018). Relative impacts of fishing and eutrophication on coastal fish assessed by comparing a no-take area with an environmental gradient. *Ambio*, ss. 565-579.

Florin, A.-B., 2005. Flatfishes in the Baltic Sea – a review of biology and fishery with a focus on Swedish conditions, Öregrund: Fiskeriverket.

Daoud, JI. (2017). Multicollinearity and regression analysis. *J. Phys.: Conf. Ser.* 949 012009

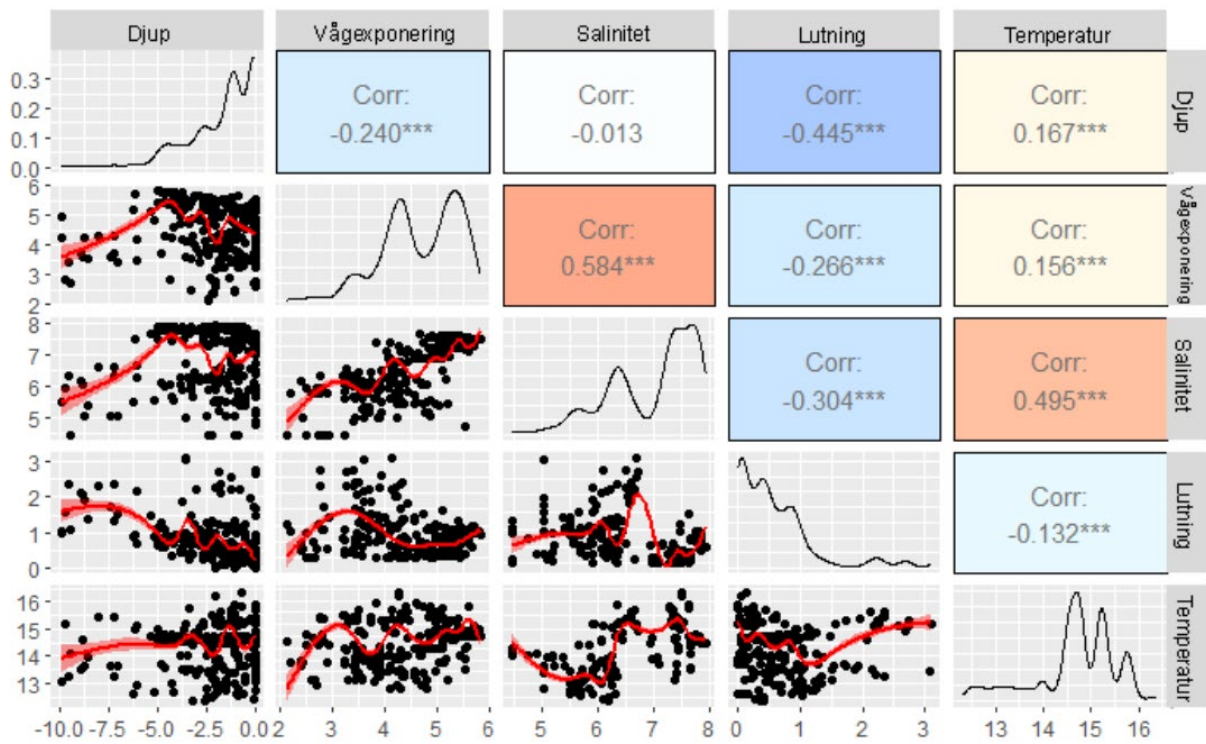
Isaeus, M. (2004). Factors structuring *Fucus* communities at open and complex coastlines in the Baltic Sea, Doktorsavhandling, Botaniska institutionen, Stockholms universitet.

Karås, P. & Klingsheim, V., 1997. Effects of temperature and salinity on embryonic development of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) from the North Sea, and comparisons with Baltic populations. *Helgoland Marine Research*, 51(2), pp. 241-247.

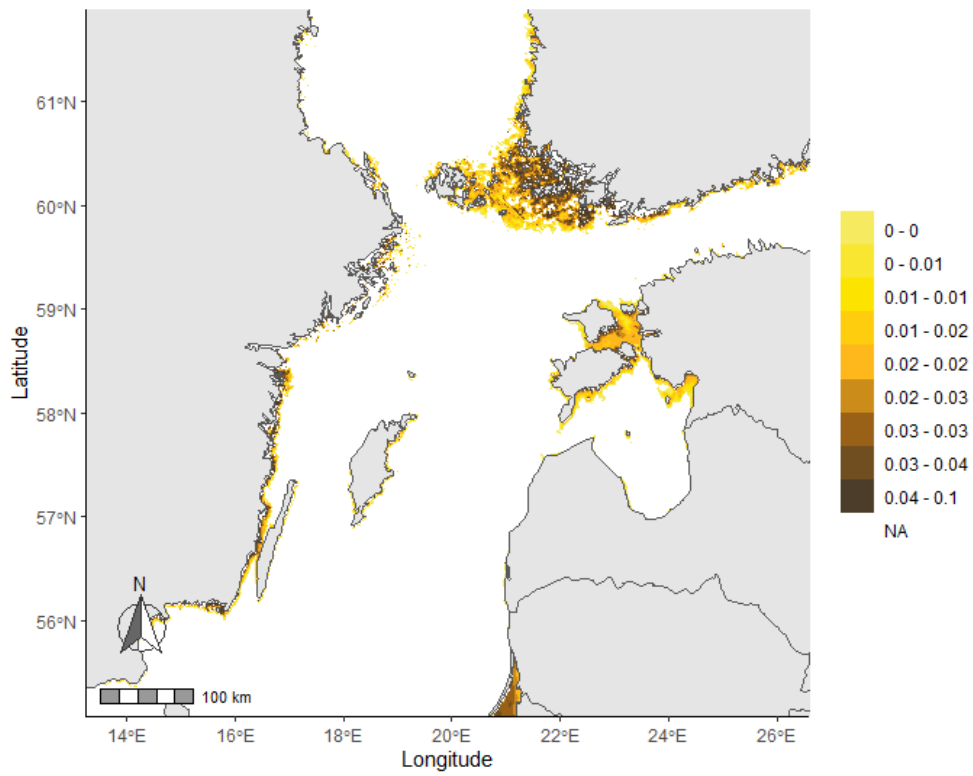
Martinsson, J., & Nissling, A. (2011). Nursery area utilization by turbot (*Psetta maxima*) and flounder (*Platichthys flesus*) at Gotland, central Baltic Sea.

Naimi, B., Marajo, M. B. (2016). sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, 39(4), 368–375.

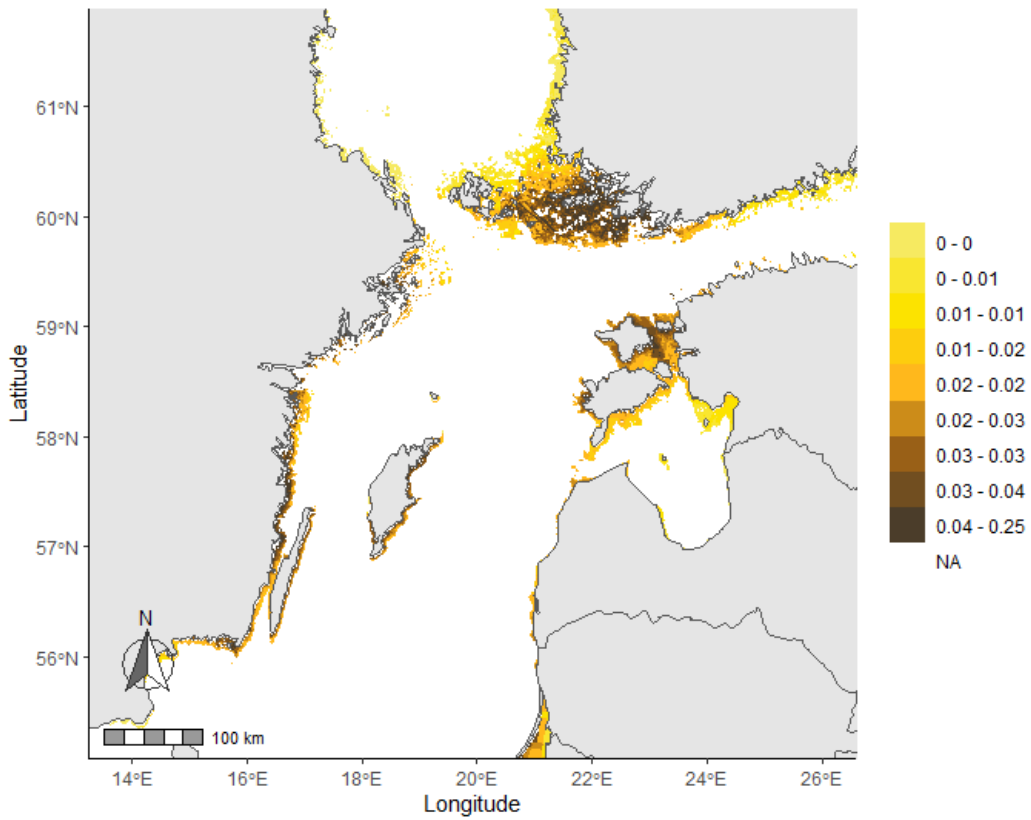
Bilaga



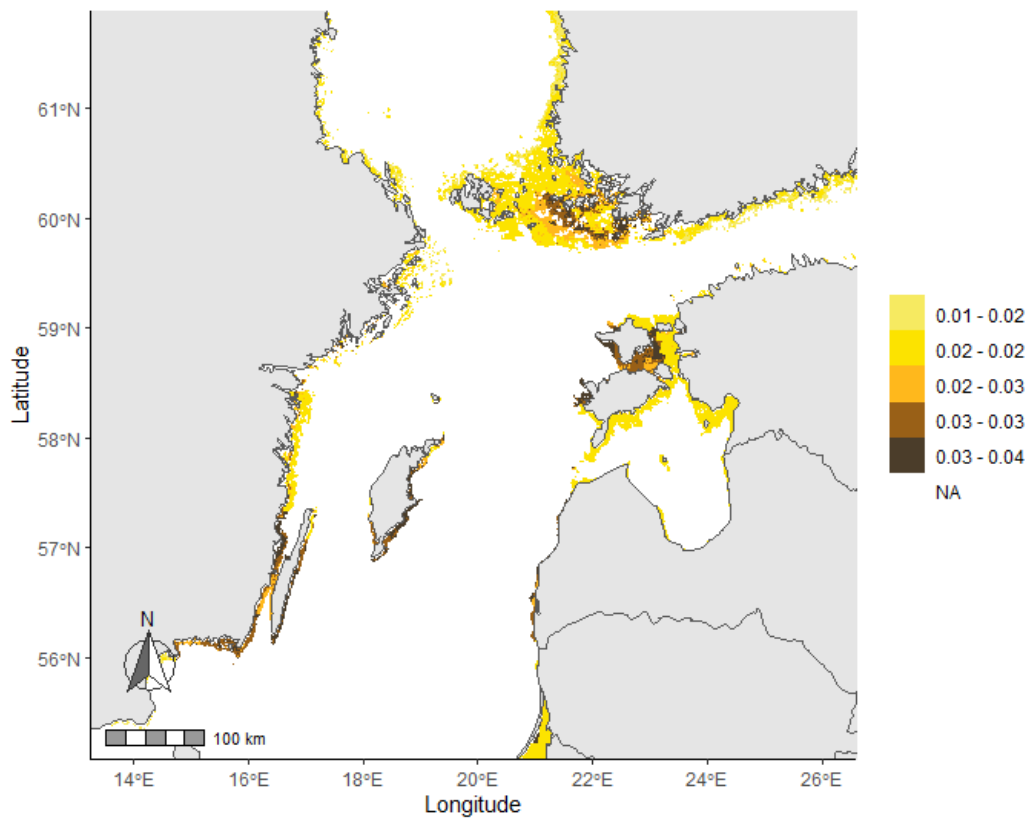
Figur 5. Korrelationstest av de miljövariabler som ingår i modellerna



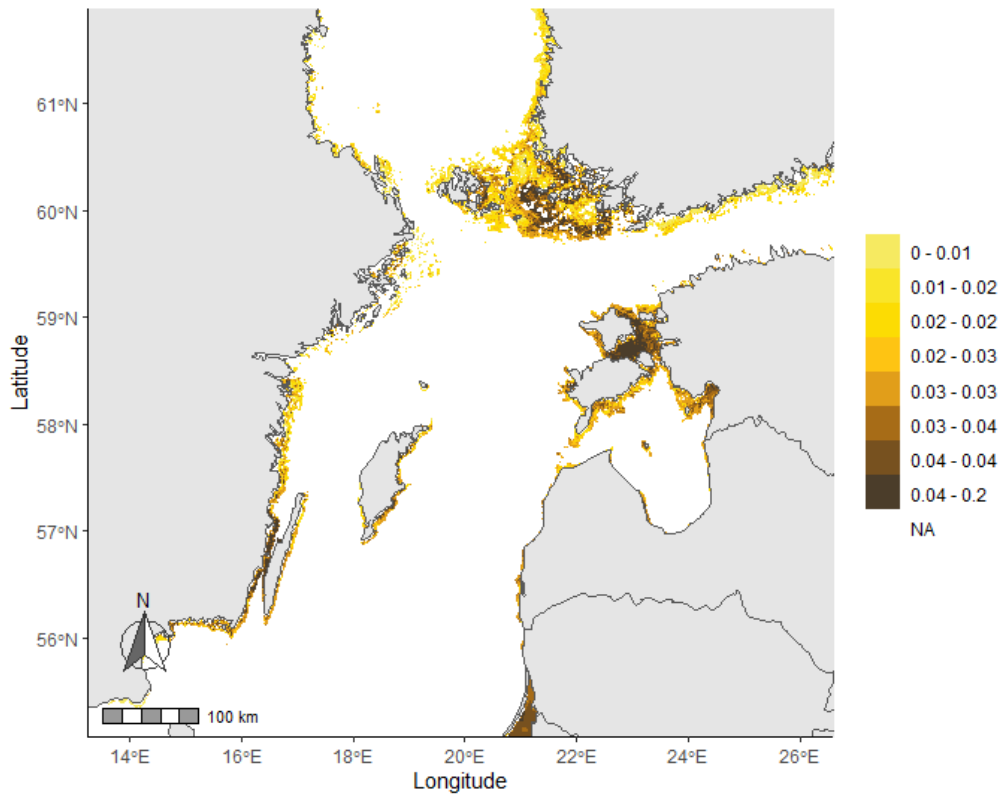
Figur 6. Predikterad karta över utbredningen av piggvarens uppväxtområden baserad på GLM-modellen. Skalan anger predikterad abundans i antal individer per hektar



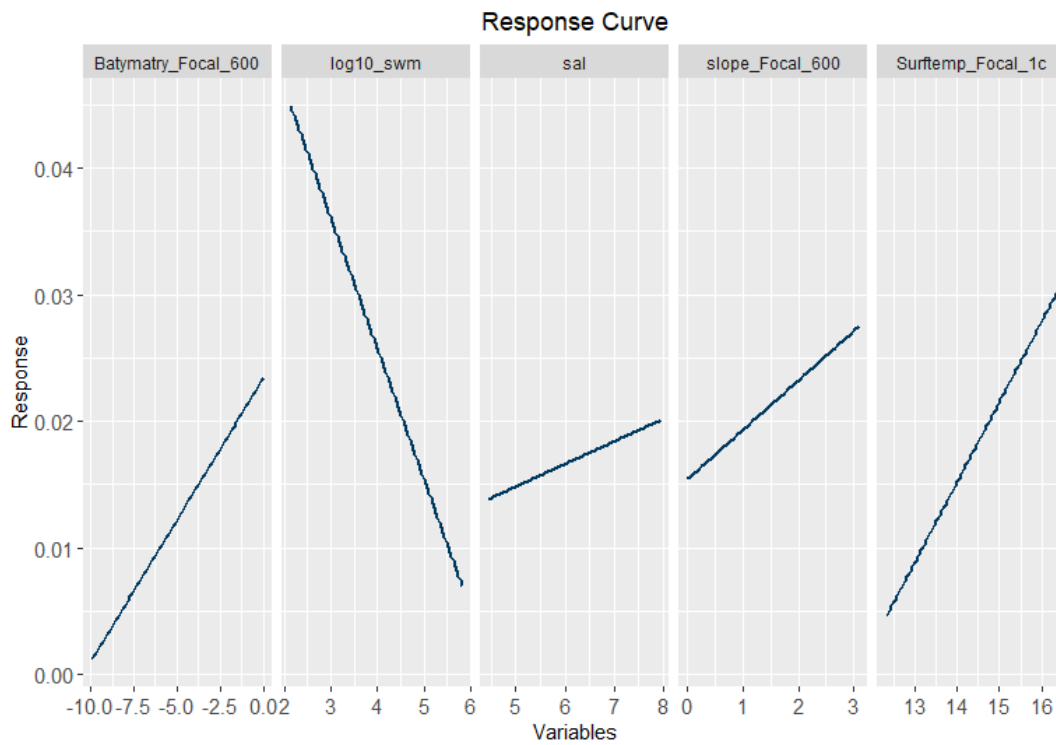
Figur 7. Predikterad karta över utbredningen av piggvarens uppväxtområden baserad på GAM-modellen. Skalan anger predikterad abundans i antal individer per hektar.



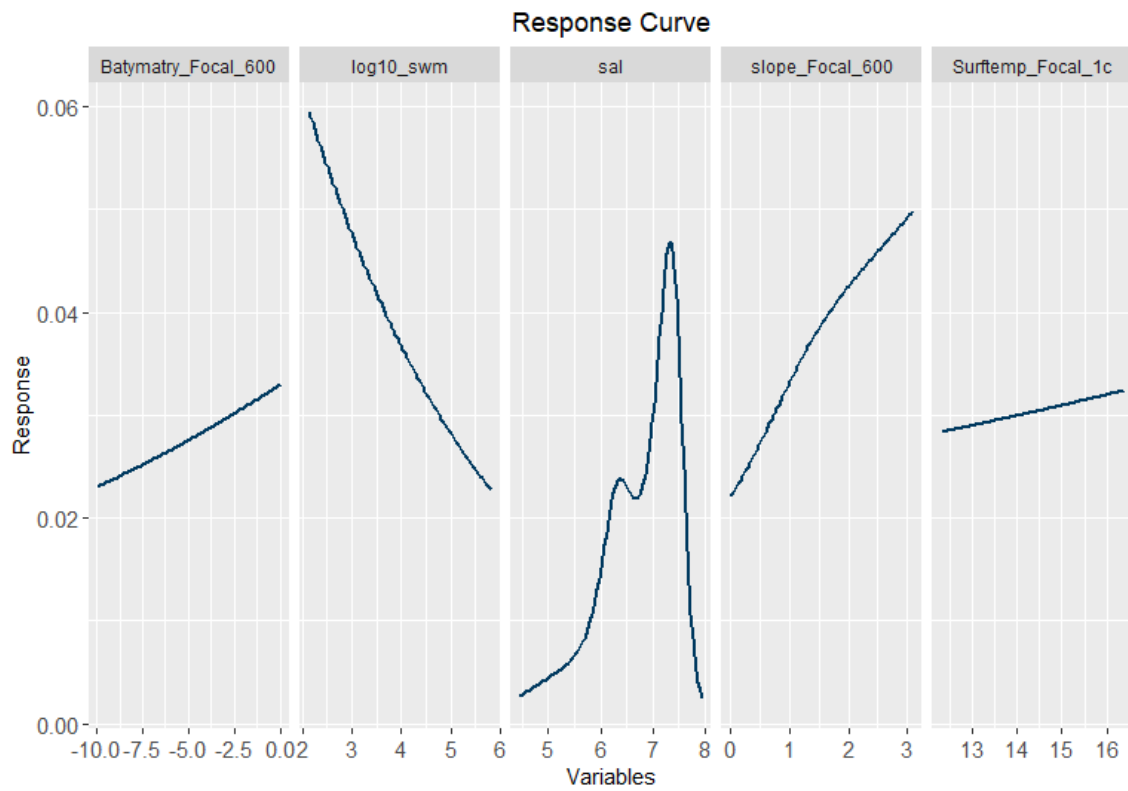
Figur 8. Predikterad karta över utbredningen av piggvarens uppväxtområden baserad på GBM-modellen. Skalan anger predikterad abundans i antal individer per hektar.



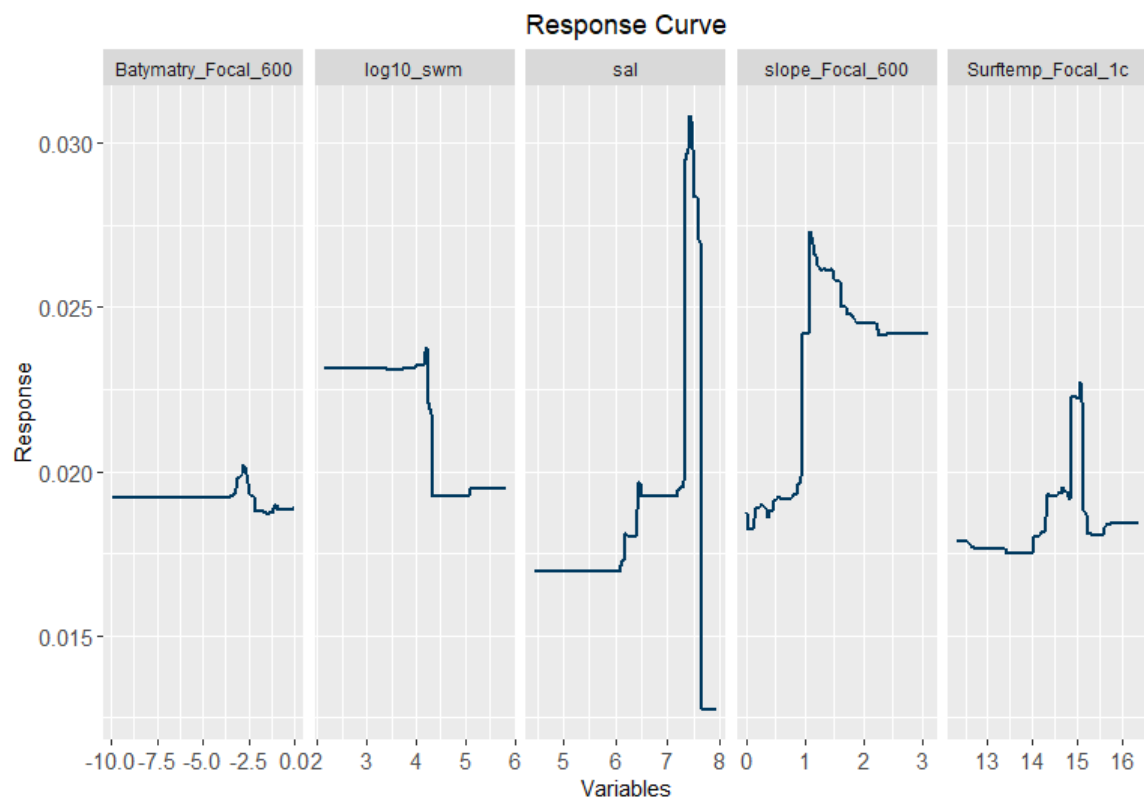
Figur 9. Predikerad karta över utbredningen av pigvärens uppväxtområden baserad på RF-modellen. Skalan anger predikerad abundans i antal individer per hektar.



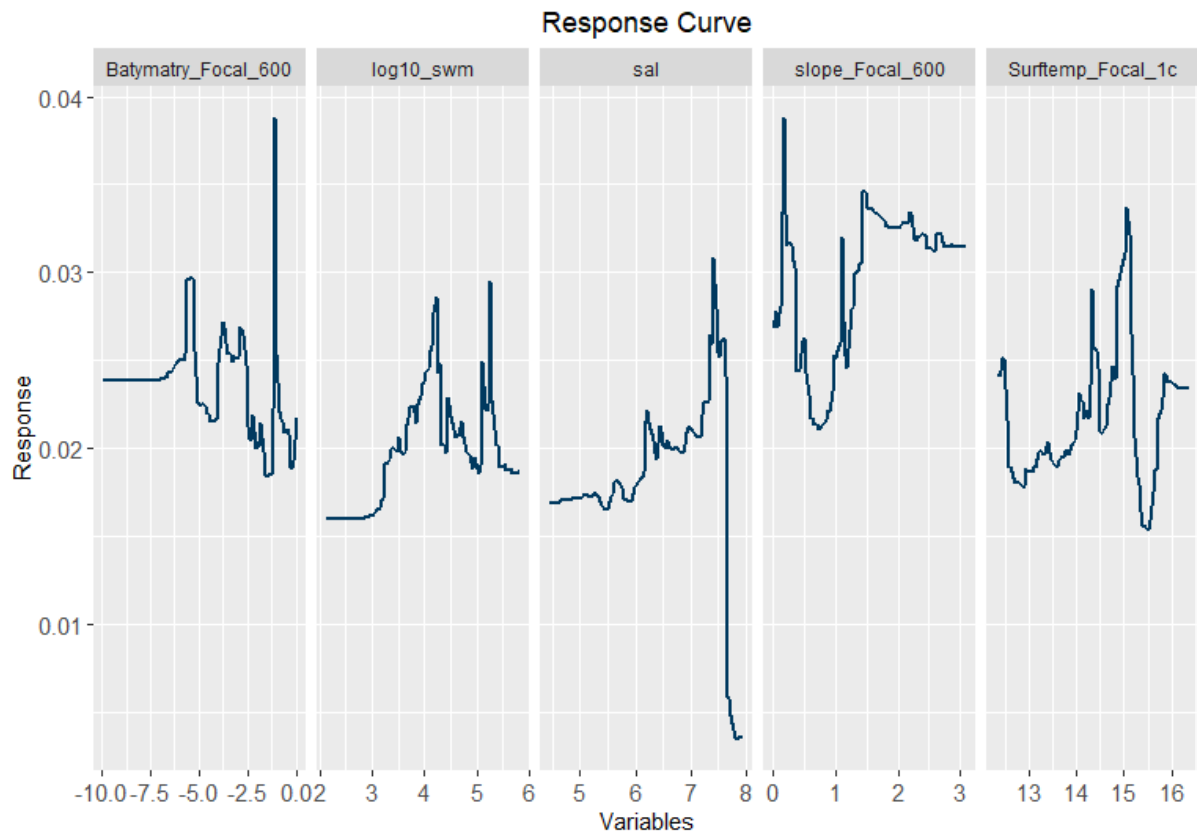
Figur 10. Partiella responskurvor för GLM-modellen.



Figur 11. Partiella responskurvor för GAM-modellen



Figur 12. Partiella responskurvor för GBM-modellen



Figur 13. Partiella responskurvor för RF-modellen