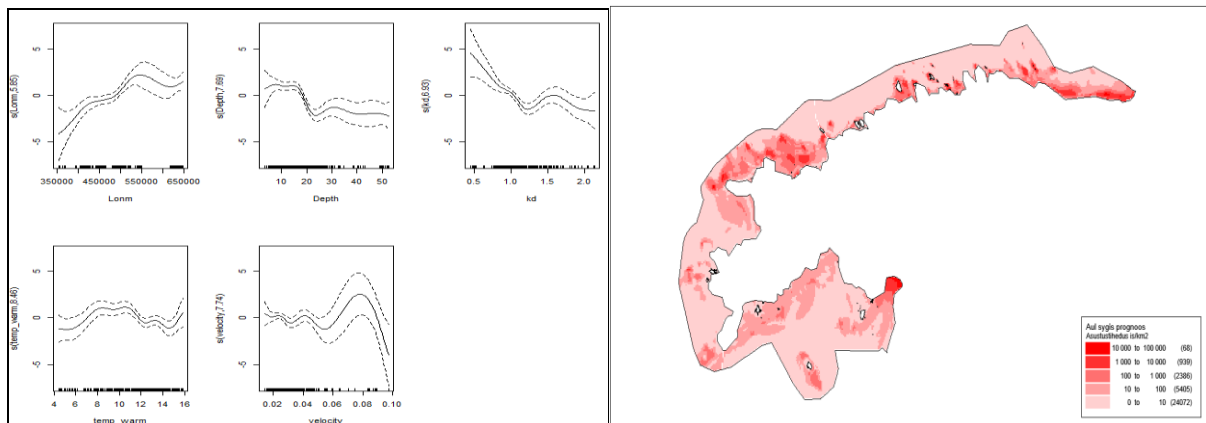


## Eesti Ornitoloogiaühing

# Mudelid linnustiku karakterliikide modelleerimiseks Eesti territoriaalmeres

Töövõtuleping J/5/2013

Teostatud projekti „Eesti merealade planeerimiseks looduskaitse teabe koondamine, sh. territoriaalmeres mereelupaikade modelleerimine“ raames



Tellijä: SA Eestimaa Looduse Fond

lepingu vastutav täitja:  
Andrus Kuus

Tartu 2014

## Sisukord

1. Sissejuhatus .....	3
2. Materjal ja metoodika.....	5
2.1. Linnustiku andmed .....	5
2.2. Keskkonnamuutujad.....	6
2.3. Mudel .....	7
2.4. Prognoos.....	8
3. Tulemused .....	9
3.1. Aul.....	9
3.2. Kaurid.....	12
3.3. Mudelite kvaliteet.....	17
4. Lisauuringute ja kaitse vajaduste täpsustamine Eesti merealadel .....	18
Kokkuvõte .....	20
Kirjandus .....	21
LISA .....	22

# 1. Sissejuhatus

Eesti avameri omab suurt tähtsust mitme veelinnuliigi peatumisalana. Vaatamata teadmiste nappusele oli juba 2000-ndate alguses teada mitme mereala vastav rahvusvaheline tähtsus. Rahvusvahelise tähtsusega linnualade kogumite kriteeriumide (peatub vähemalt 1% rändete populatsioonist või vähemalt 20 000 rändset veelindu) alusel valiti välja näiteks 2 ala kauridele (*Gavia sp.*), 6 ala aulile (*Clangula hyemalis*), 2 ala mustvaerale (*Melanitta nigra*) ja 3 ala tõmmuvaerale (*Melanitta fusca*; Kuus, Kalamees 2003).

Lisaks merealade linnustikulisele tähtsusele on viimasel ajal muutunud aktuaalseks avamere tuuleparkide loomise temaatika, millega seondub võimaliku ohuteguri lisandumine avamere linnustikule. Kõike seda arvestades muutus järjest olulisemaks teadmiste täiendamine meie merelinnustiku kohta. Avamerelinnustiku intensiivsem uurimine Eestis algas 2000-ndate aastate keskel. Mitme erineva projekti raames on läbi viidud lennu- ja laevaloendusi, mis on oluliselt täiendanud teadmisi lindude levikust ja arvukusest meie merel.

Loendused avamerel on siiski kallid ja töömahukad. Lisaks on loendusmarsruutide vahel vajalik teatav vahemaa, vähendamaks loenduse käigus laeva või lennuki eest lendu tõusnud lindude mitmekordse loendamise riski. Kogu mereala loendustega täielikult katta pole võimalik. Peatuvate lindude leviku ja arvukuse hindamiseks loendatud alade vahel tuleb kasutada kaudseid meetodeid. Seejuures pole linnud andmete matemaatiliseks töötlemiseks kerge rühm. Paljude liikide tugeva koonduvuse jms. tõttu ei vasta linnustiku andmed sageli matemaatiliste meetodite puhul nõutavatele eeldustele, mis seab piiranguid meetodite valikul või muudab nende kasutamise keeruliseks.

Lindude asustustiheduste prognoosimist loendustega katmata aladel on võimalik teostada interpoleerides naabruses loendatud asustustihedusi või modelleerides asustustiheduste ja keskkonnamuutujate vahelisi seoseid. Modelleerimine on merelindude andmete töötlemises suhteliselt uus, kuid perspektiivne ja järjest enam tähelepanu leidev meetod.

Modelleerimine jm. kaudsed meetodid võimaldavad ainult ligikaudselt hinnata seni uurimata alade linnustikku ja nende kasutamine ei tähenda kindlasti edaspidiste loenduste läbiviimise vajaduse lõppemist. Tuleb siiski märkida, et linnud peatuvad mingil alal ainult teatud ajavahemikul, võimalikud on aastatevahelised erinevused jms., seega loenduste tulemused sõltuvad teatud määral juhusest ehk loenduse sattumisest „õigele ajale“. Modelleerimine võimaldab leida senikogutud andmete põhjal üldisi seoseid lindude ja keskkonnatingimuste vahel ning valida keskkonnatingimuste põhjal välja lindudele potentsiaalselt kõige olulisemaid alasid. Modelleerimine võiks olla üheks abivahendiks edaspidiste uuringute planeerimisel.

Eestis kogutud merelinnustiku andmed on varasemalt modelleerimisel leidnud kasutamist paaril korral välismaa spetsialistide poolt (Skov et.al. 2011, Aunins et.al. 2013). Eestimaa Looduse Fondi projekti „Eesti merealade planeerimiseks looduskaitse teabe koondamine, sh. territoriaalmerere mereelupaikade modelleerimine“ raames avanes võimalus meetodi kohalikuks rakendamiseks. Tegemist on esimese kodumaise katsega ja saadud tulemused ei ole kindlasti ideaalsed. Projekti käigus omandatud teadmised võimaldavad siiski modelleerimise kui olulise meetodi kasutamist avamerelinnustiku andmete töötlemisel ja on aluseks meetodika edaspidisele täpsustamisele ning arendamisele.

Töö viidi läbi Eesti Ornitoloogiaühingus, töös osalesid Andrus Kuus, Veljo Volke ja Andres Kalamees. Abi töö valmimisel osutasid Kristjan Herkül (TÜ Eesti Mereinstituut) ja Riho Marja. Tarkvara ArcGIS kasutamise alal koolitas Ranel Suurna (OÜ AlphaGis GIS-projektijuht).

## 2. Materjal ja metoodika

Modelleerimisel püütakse leida sõltumatu muutuja (antud juhul linnuliigi esinemise tõenäosus või asustustihedus) seos sõltumatutest muutujatest (keskkonnaandmetest) ning kasutada saadud seost sõltumatu muutuja väärtuste prognoosimiseks. Vastavalt sellele koosnes käesolev töö neljast etapist:

1. Linnustiku andmete koondamine ja ettevalmistamine
2. Keskkonnamuutujate väärtuste leidmine
3. Mudeli koostamine
4. Prognoosi koostamine

### 2.1. Linnustiku andmed

Avamereloendustel kasutatakse marsruutloendusi. Linde loendatakse liikuvalt loendusplatvormilt (lennuk või laev) teatud ajavahemikul (laevaloendustel 2 min) läbitavate loenduslõikude kaupa. Fikseeritakse lindude liik ja arvukus ning loendusmarsruuti iseloomustavad parameetrid (aeg, koordinaadid, kiirus). Loenduse käigus eristatakse teatud laiusega põhiribas (laevaloendustel 300 m) esinenud linnud, mis võimaldab asustustiheduste leidmist loendatud arvukuste põhjal.

Käesolevas töös on käsitletud kahte liiki/liigirühma: auli (*Clangula hyemalis*) ja kaure (*Gavia sp.*). Mõlemad on tähtsaimad esindajad kahest erinevast avamerel peatuvate lindude rühmast. Aul kuulub põhjatoiduliste liikide hulka. Põhjatoiduliste liikidele on iseloomulik koondumine suurtesse salkadesse. Kaurid esindavad kalatoidulisi liike. Võrreldes auliga peatuvad kaurid merel suhteliselt hajusalt. Kauriliikide (järvekaur *Gavia arctica* ja punakurk-kaur *Gavia stellata*) eristamine loenduste käigus on raskendatud ja traditsiooniliselt käsitletakse neid koos. Mõlemad kauriliigid kuuluvad linnudirektiivi I lisa liikide hulka. Aul on üks olulisemaid liike meie avamerelinnustikus, kelle kogumid täidavad tihti rahvusvahelise tähtsusega linnualade kriteeriume. Lisaks on viimasel ajal täheldatud auli arvukuse langust, mis nõuab liigile suurema tähelepanu osutamist.

Linnustiku puhul esinevad märkimisväärsed sesoonsed erinevused, välistada ei saa ka nende erinevuste seost keskkonnamuutujatega. Käesolevas töös on auli puhul käsitletud esinemist sügisel (september – november) ja kauride puhul kevadel (märts – mai). Sesonide sellise valiku tingis kauride puhul olemasolevate vaatluste arv. Auli puhul andis sügise kohta koostatud mudel kõige paremaid tulemusi. Samuti on sügis seniste kogemuste põhjal auli jaoks üks olulisemaid aastaaegu, millal liigi arvukus meie vetes on sageli kõige suurem.

Käesolevas töös on kasutatud laevaloenduste andmeid, mis on kogutud erinevate projektide raames ajavahemikul 2006-2013. Andmed on kogutud Soome ja Liivi lahest ning Läänemere avaosast territoriaalmeres piires. Väinameres laevaloendusi läbi viidud ei ole, majandusvööndisse on loendusmarsruudid ulatunud tühisel määral. Valimi suurus (loenduslõikude arv) on toodud tabelis 1. Arvestati ainult soodsates loendustingimustes (nähtavus üle 2 km ja lainetus kuni 4 balli Beaufort skaalas) kogutud andmetega.

Laevaloenduste andmed on vastavas Microsoft Access andmebaasis, mis koosneb kahest põhitabelist: lindude loendusandmed ja loendusmarsruutide andmed. Tabelid on omavahel

seotud vaatlusaja kaudu. Andmebaasi põhjal leiti linnuliikide asustustihedused loenduslõikudes (is/km<sup>2</sup>) valemiga:

$$(\text{arvukus loenduslõigus, is x 100}) / (\text{laeva kiirus, sõlme x 1,852})$$

Asustustihedused seoti koordinaatidega (loenduslõigule vastava laeva marsruudi lõigu keskpunkt) ja neid kasutati edaspidises analüüsis kui punktandmeid.

Tabel 1. Loenduslõikude arv.

	Sügis		Kevad	
	Kokku	Aul esines	Kokku	Kaurid esinesid
Liivi laht	1907	217	1908	71
Läänemere avaosa	287	19	525	6
Soome laht	567	156	827	32
Kokku	2761	392	3260	109

## 2.2. Keskkonnamuutujad

Keskkonnamuutujate allikana kasutati Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituudi poolt projekti „Eesti merealade planeerimiseks looduskaitse teabe koondamine, sh. territoriaalmere mereelupaikade modelleerimine“ raames koondatud rasterkihte. Kihtide resolutsioon oli 25-200 m. Lähemalt on keskkonnamuutujate kihte kirjeldatud vastavas aruandes (Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituut 2014).

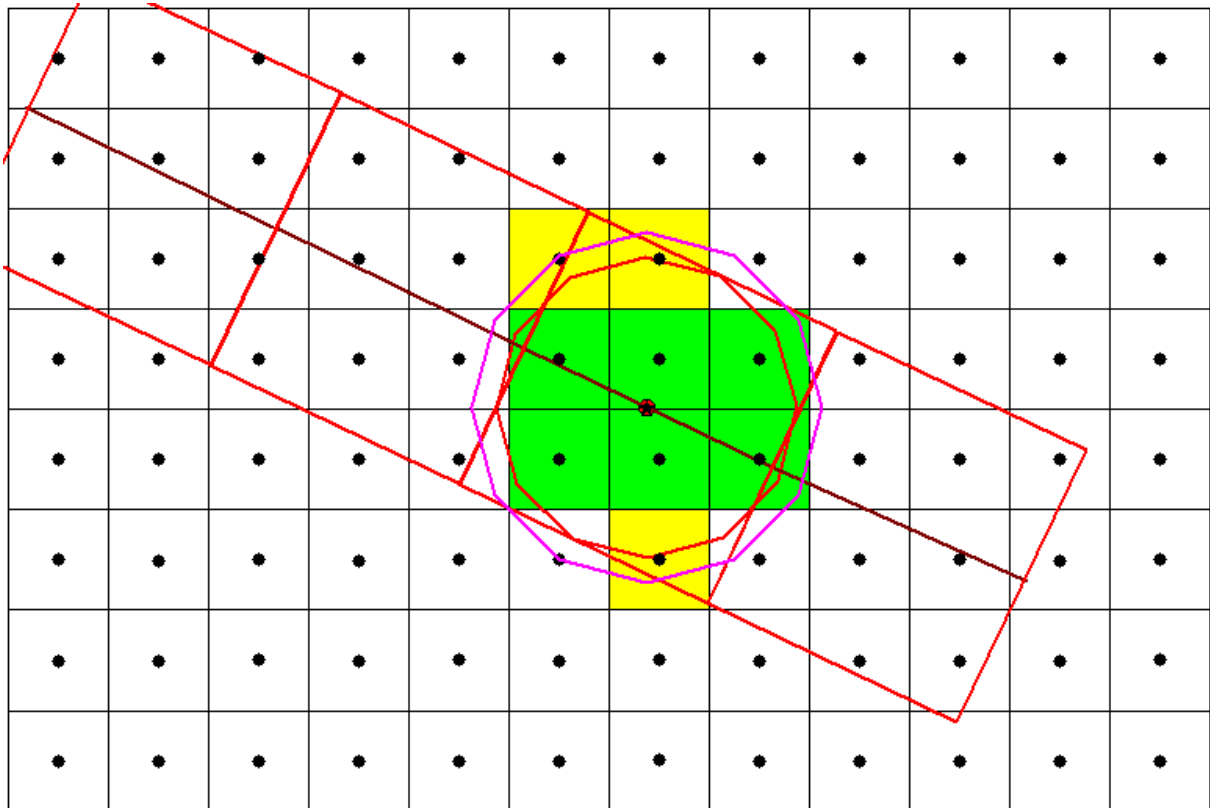
Esimene valik suure arvu keskkonnamuutujate vahel tehti lähtuvalt nende arvatavast mõjust lindude levikule ja omavahelisest korreleeruvusest, põhieesmärgiga vähendada omavahel tugevalt korreleeruvate muutujate kasutamist samas mudelis. Välja valitud keskkonnamuutujate kihtide nimekiri on toodud tabelis 2.

Tabel 2. Kasutatud keskkonnamuutujad.

Nimi	Iseloomustus
sügavus (Depth)	Mere sügavus, m
soolsus (Salinity)	Merevee põhjakihi keskmine soolsus
läbipaistvus (kd)	Vee läbipaistvus hinnatuna nõrgenemiskoeffitsiendi kaudu satelliidipiltide põhjal perioodil 2010-2012.
interpoleeritud pehme sette osakaal (sete_int)	Pehmete substraaditüüpide (muda, savi, peenliiv, keskmine liiv, jämeliiv, kruus) summaarne osakaal põhjasubstraadis
temperatuur soojal poolaastal (temp_warm)	Modelleeritud vee põhjakihi keskmine temperatuur soojal poolaastal (°C); mudeli periood 1996-2005
hoovus (velocity)	Modelleeritud vee põhjakihi keskmine hoovuse kiirus perioodil 1996-2005

Keskkonnamuutujate sidumiseks linnustiku andmetega moodustati loendusmarsruutide punktide (loenduslõikude keskpunktid laeva marsruudil) ümber 350 m raadiusega puhvrid. Loenduslõigule vastavaks keskkonnamuutuja väärtuseks loeti kõigi nende rastrate keskmine väärtus, mille keskpunktid jäid puhvri piiresse. Puhvri raadiuse määramisel lähtuti sellest, et 350 m korral oli loenduslõik paremini kaetud ka 200 m resolutsiooni korral.

Ruumianalüüside läbiviimisel kasutati tarkvara ArcGIS 10.2 ja MapInfo Professional 11.5.



Joonis 1. Arvesseminevad pikslid puhvri raadiuse 300 (roheline) ja 350 m (kollane) korral. Loenduslõike tähistavate punaste ristkülikute pikkus vastab loendustel esinenud keskmisele laeva liikumiskiirusele 9 sõlme.

### 2.3. Mudel

Linnustiku andmete ja keskkonnamuutujate vaheliste seoste modelleerimiseks kasutati üldistatud aditiivseid mudeleid (GAM, generalized additive models). Üldistatud aditiivsed mudelid on mitteparameetiline meetod, mis võimaldab erineva kujuga seoste modelleerimist silumisfunktsiooni abil. Mudel loodi vabavaralises statistikatarkvaras R 3.0.1 (R Core Team 2013), kasutades paketti mgcv (Wood 2014). Silumismeetodina kasutati nn. „thin plate regression spline“ meetodit, mis võimaldab algandmete silumist ilma sõlmede (silumisfunktsiooni lõikude liitumiskohtade) määramise ja sellega kaasneva subjektiivsuseta.

Tavaliseks probleemiks merelinnustiku andmete puhul on jaotuse tugev kallutatatus 0-väärtuste (liik puudub) suunas. Käesolevas töös on järgitud kogu Läänemere talvitavate veelindude modelleerimiseks kasutatud kaheastmelise modelleerimise meetodikat (Skov 2011). Kõigi algandmete põhjal koostati esinemise tõenäosuse mudel, millesse sõltuv muutuja sisestati binaartunnusena, kus 0 tähendas liigi puudumist ja 1 esinemist (binoomjaotus, logit link). Ainult nende loenduslõikude andmetel, kus liik esines, koostati asustustiheduse mudel (gammajaotus, log link). Lõpliku prognoosi saamiseks korrutati esimese mudeli abil saadud esinemise tõenäosuse prognoos teise mudeli abil saadud asustustiheduse prognoosiga.

Algne mudel sisaldas kõiki välja valitud keskkonnamuutujaid. Edasine mudeli täpsustamine toimus muutujate järjestikuse eemaldamise teel vastavalt nende olulisusele (p-väärtusele).

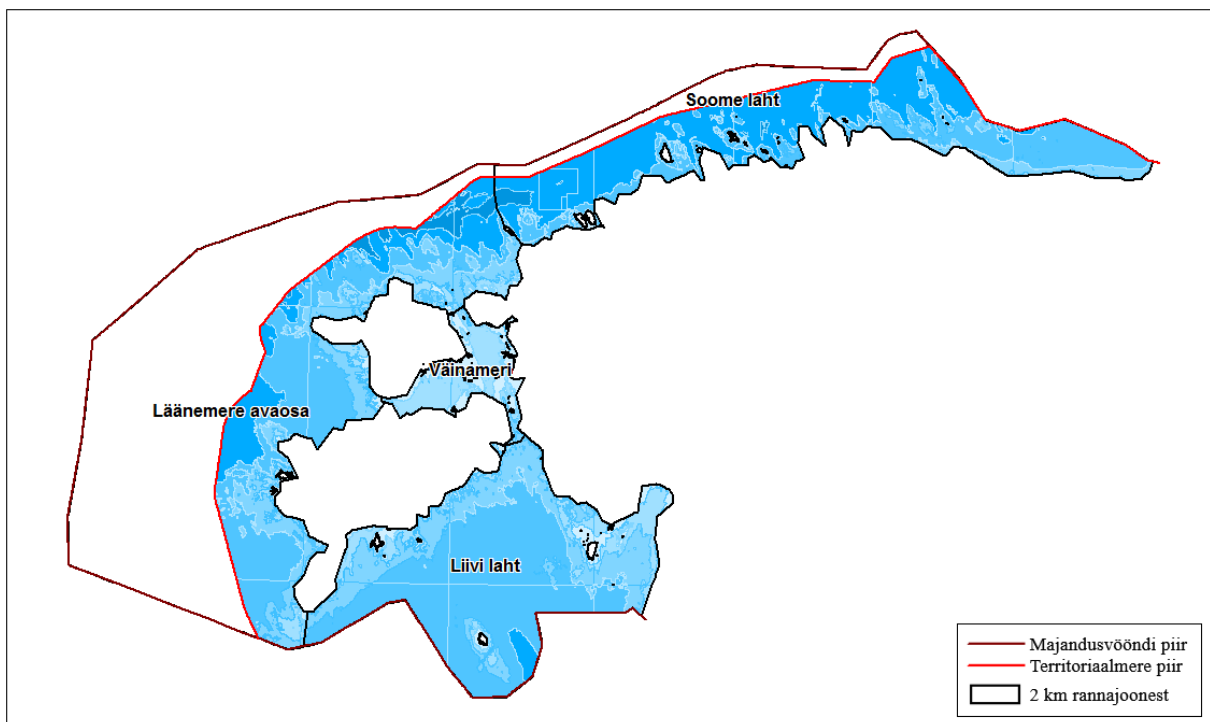
## 2.4. Prognoos

Saadud mudeleid kasutades prognoositi auli ja kauride asustustihedus Eesti territoriaalmeres (joonis 2). Ranna suunas oli prognoosiga hõlmatava ala piiriks 2 km rannajoonest. Vahetult rannalähedased alad on väikese sügavuse tõttu laevaloendusteks ebasobivad, nende puhul annavad paremaid tulemusi rannast läbi viidavad loendused. Väinameres laevaloendusi läbi viidud ei ole ja Väinamere prognoosi tuleb suhtuda ettevaatusega.

Prognoosimiseks moodustati territoriaalmerd hõlmav raster resolutsiooniga 1 km. Pikslitele vastavad keskkonnamuutujate väärtused leiti sarnaselt loendusandmete puhul kasutatule: keskkonnamuutuja väärtuseks prognoosi pikslis loeti keskmine kõigi nende keskkonnamuutuja kihi pikslite väärtustest, mille keskpunktid jäid prognoosi piksli piiresse.

Mudelite loomiseks valiti juhuslikult 80% andmetest, ülejäänud 20% abil valideeriti mudelite tulemusi. Valideerimiseks leiti mudeli põhjal prognoositud ja loendustulemuste põhjal arvutatud asustustiheduste vaheline korrelatsioon (Spearmani astakorrelatsioonikordaja).

Lisaks korrelatsiooni leidmisele hinnati prognooside tulemusi visuaalselt, tuginedes senistele teadmistele liikide levikust ja arvukusest.



Joonis 2. Prognoosis käsitletud mereala (sinine).



### 3. Tulemused

#### 3.1. Aul

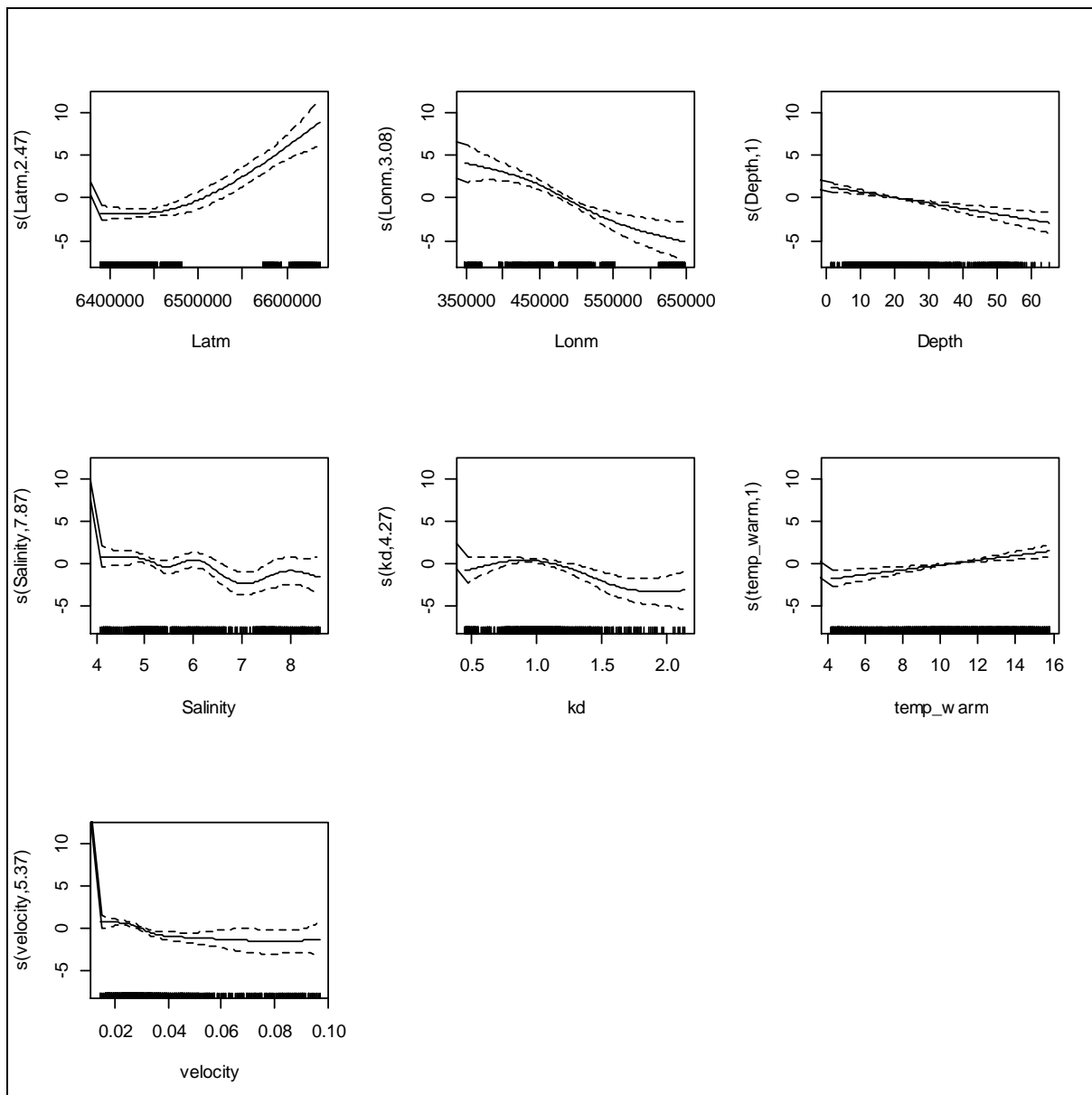
Auli (*Clangula hyemalis*) esinemise tõenäosust ja asustustihedust modelleeriti sügiseste laevaloenduste andmetel.

Mudeli komponentide ligikaudne olulisus ning mudeli poolt kirjeldatud varieeruvuse osa on toodud tabelis 3, tulemuste täpsem kirjeldus lisas. Üksikute keskkonnamuutujate mõju iseloomustavad graafikud on kujutatud joonistel 3 ja 4. Mudeli põhjal võib oletada, et peatuvate aulide levikut ja arvukust sügisel mõjutavad mere sügavus, merevee põhjakihi keskmine soolsus, vee läbipaistvus, vee põhjakihi keskmine temperatuur soojal poolaastal ja vee põhjakihi keskmine hoovuse kiirus; samuti koha koordinaadid. Sügavus on üks olulisemaid keskkonnamuutujaid söödava rannakarbi (*Mytilus trossulus*) kui tõenäoliselt olulisima auli toiduobjekti leviku mudelis (Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituut 2014). Samas ei leitud usaldusväärset seost teise rannakarbi levikus olulise keskkonnanäitaja – pehme sette osakaaluga. Sügavus, samuti vee läbipaistvus avaldavad mõju auli toitumise efektiivsusele. Ülejäänud keskkonnamuutujad võivad olla seotud toiduobjektide rohkusega.

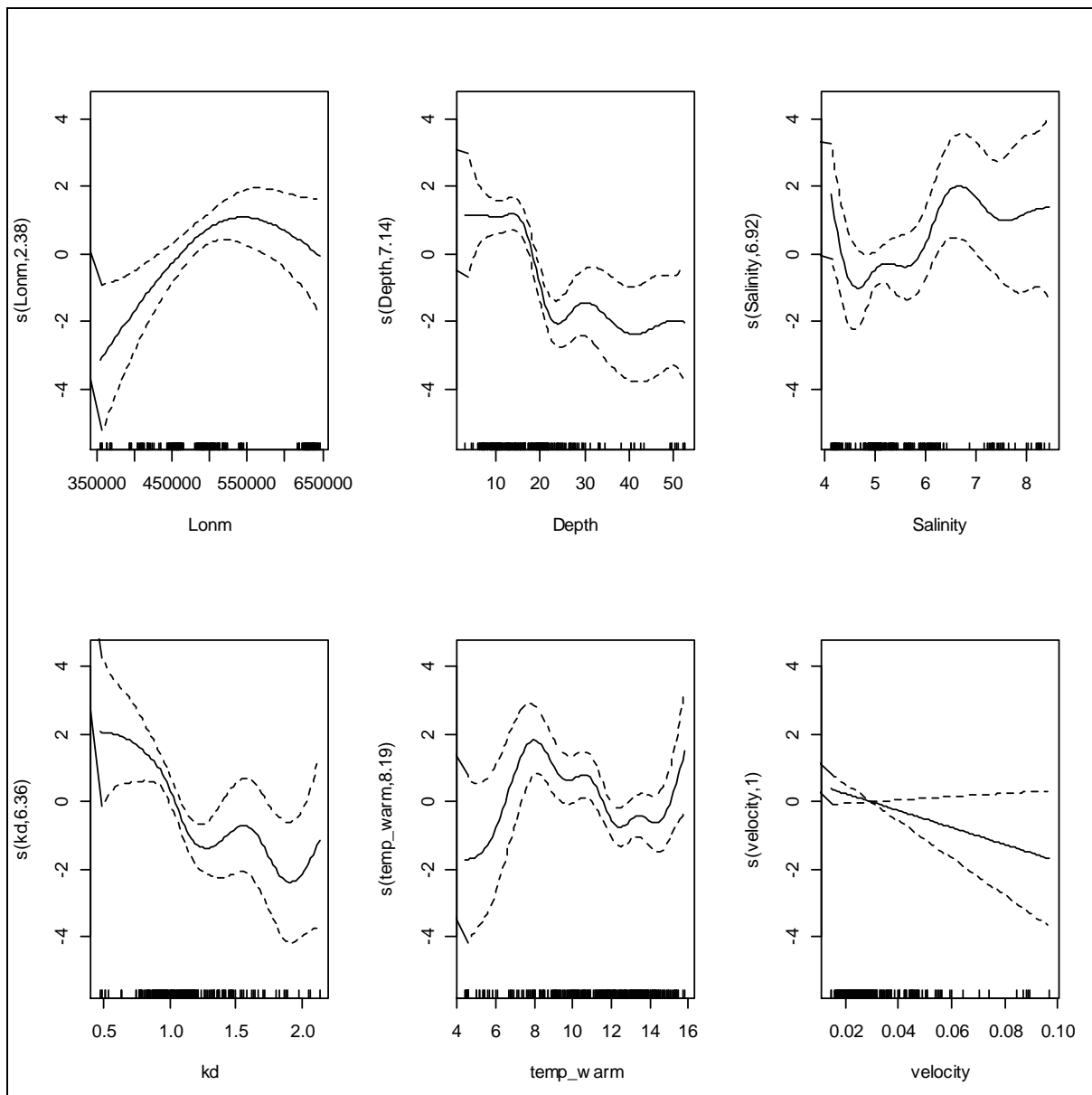
Tabel 3. Auli mudelid.

Muutuja	Esinemise tõenäosus		Asustustihedus	
	Hii ruut	P	F	P
Laius (koordinaat)	70,96	<0,01	-	-
Pikkus (koordinaat)	44,37	<0,01	4,532	<0,01
Sügavus	24,89	<0,01	6,83	<0,01
Soolsus	16,57	<0,05	2,227	<0,05
Läbipaistvus	27,83	<0,01	3,475	<0,01
Temperatuur soojal poolaastal	15,57	<0,01	3,516	<0,01
Hoovus	23,78	<0,01	2,805	<0,1
Kirjeldatud varieeruvus		21,9%		39,7%

Auli asustustiheduse kombineeritud prognoos on toodud joonisel 7. Prognoosi alusel võib eristada järgmised auli jaoks olulisemad ala: Pärnu laht, Ruhnu ümbrus, Saaremaa lõunarannikuga piirnev mereala, Hiiumaa põhja- ja edelarannikuga piirnev mereala, Väinameri ning Soome lahe idaosa. Väinamerd puudutavasse prognoosi tuleb suhtuda ettevaatusega.



Joonis 3. Kekkonnamuutujate mõju auli esinemise tõenäosusele sügisel.



Joonis 4. Keskkonnamuutujate mõju auli asustustihedusele sügisel.

### 3.2. Kaurid

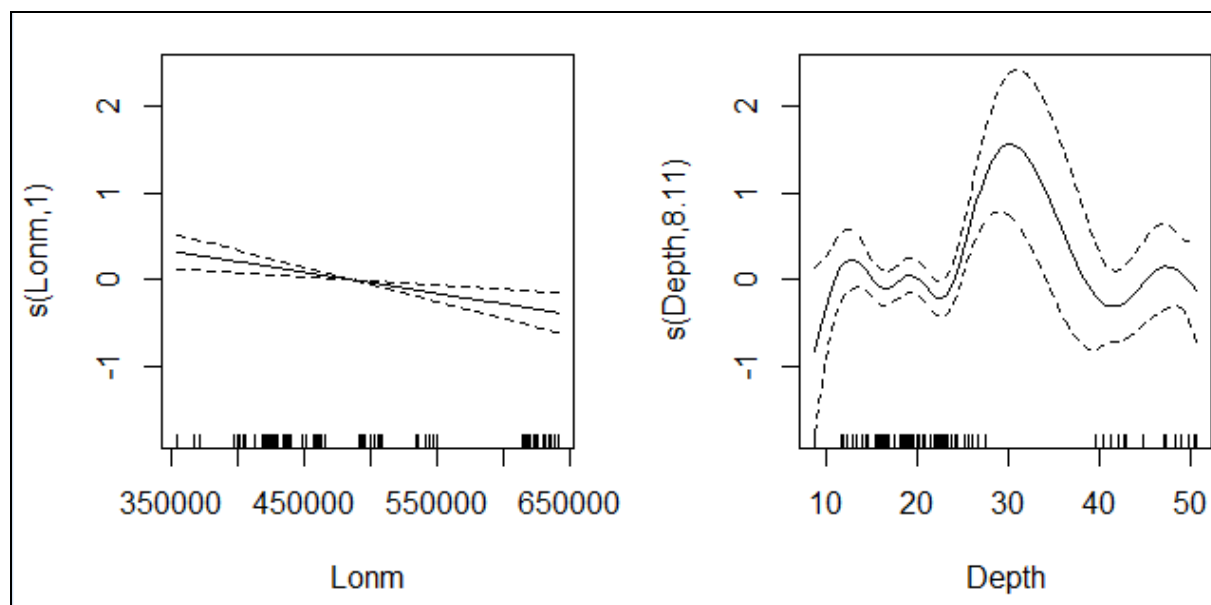
Järvekauri (*Gavia arctica*) ja punakurk-kauri (*G. stellata*) esinemise tõenäosust ja asustustihedust modelleeriti kevadiste laevaloenduste andmetel.

Mudeli komponentide ligikaudne olulisus ning mudeli poolt kirjeldatud varieeruvuse osa on toodud tabelis 4, tulemuste täpsem kirjeldus lisas. Üksikute keskkonnamuutujate mõju iseloomustavad graafikud on kujutatud joonistel 5 ja 6. Mudeli põhjal võib oletada, et peatuvate kauride levikut ja arvukust kevadel mõjutavad sügavus, vee läbipaistvus ja koha geograafiline pikkus.

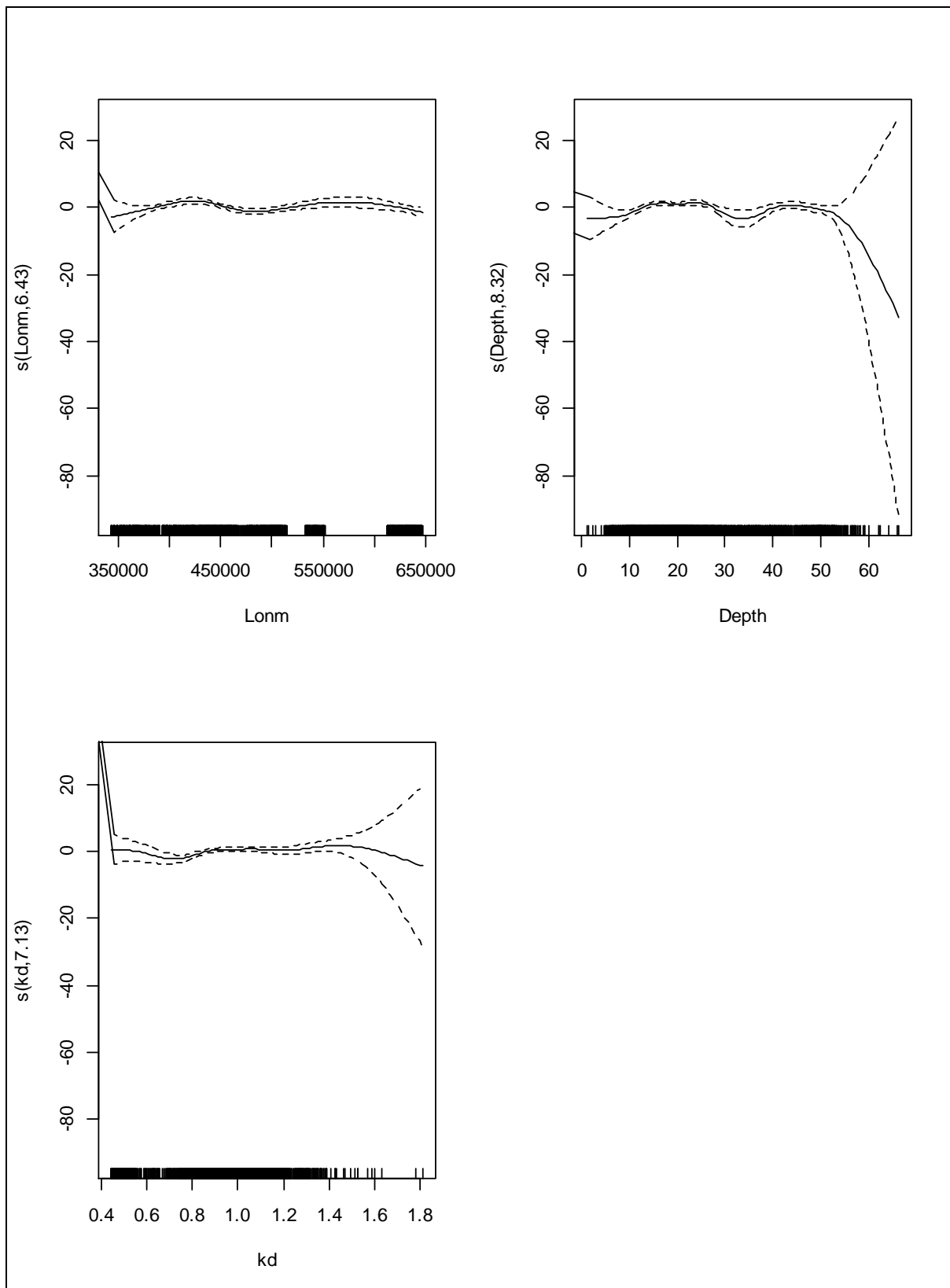
Tabel 4. Kauride mudelid.

Muutuja	Esinemise tõenäosus		Asustustihedus	
	Hii ruut	P	F	P
Pikkus (koordinaat)	40,3	<0,01	10,796	<0,01
Sügavus	33,4	<0,01	3,354	<0,01
Läbipaistvus	22,24	<0,01	-	-
Kirjeldatud varieeruvus	16,1%		46,1%	

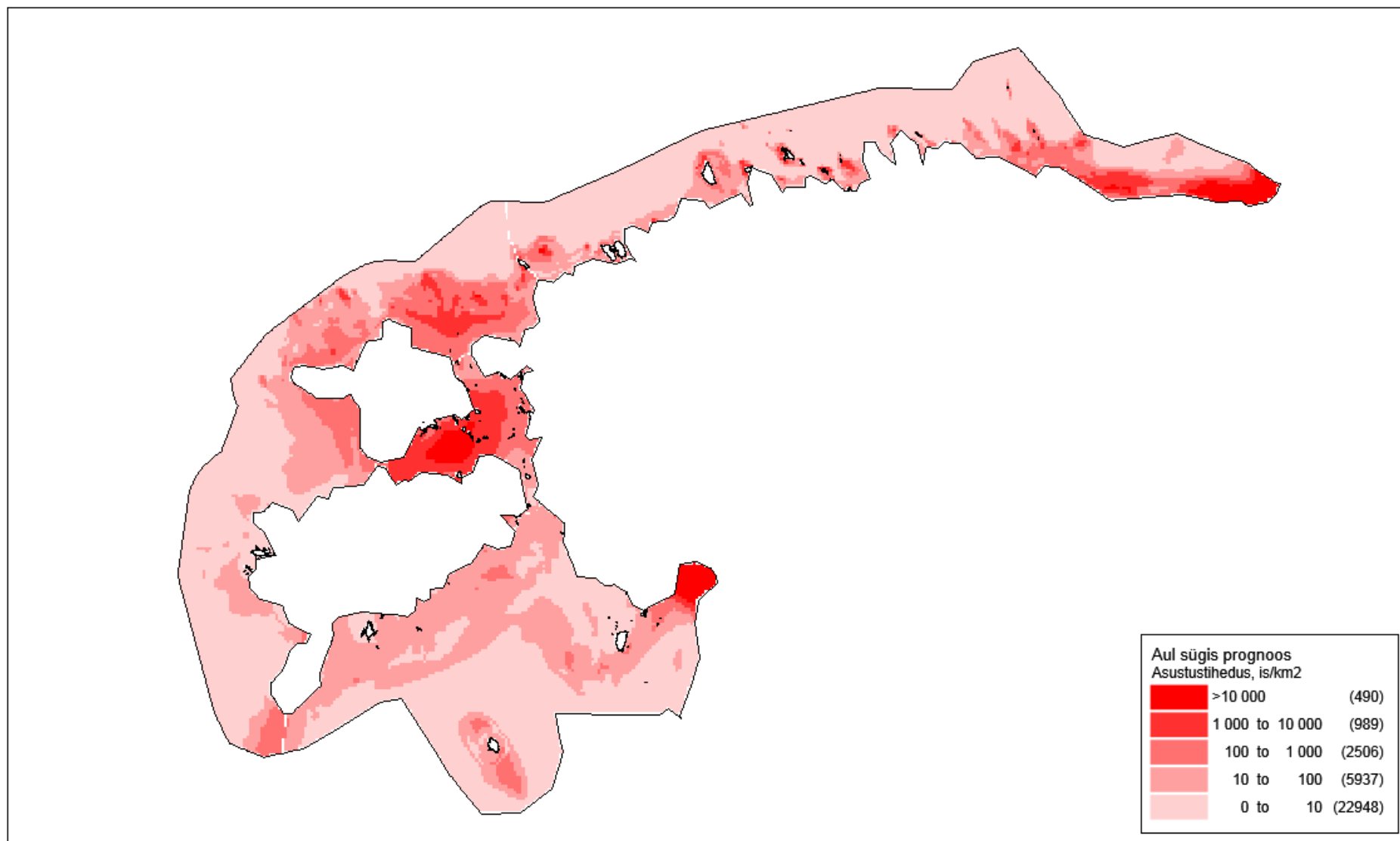
Kauride asustustiheduse kombineeritud prognoos on toodud joonisel 8. Kaurid peatuvad merel suhteliselt ühtlase madala asustustihedusega. Mudeli põhjal leidub kõige kõrgema asustustihedusega alasid Liivi lahe lääneosas, Hiiumaa ümbruses ja Soome lahe keskosas.



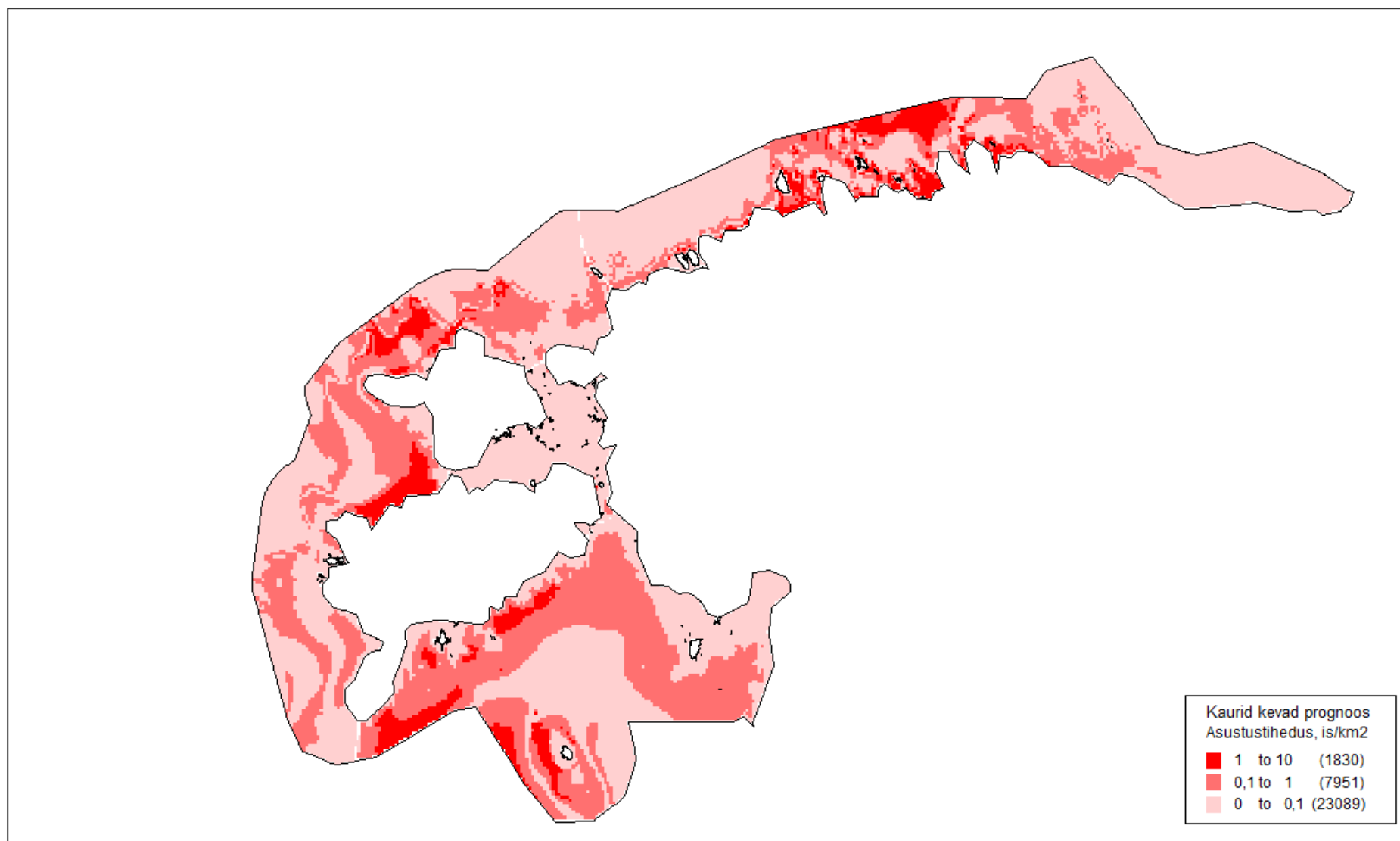
Joonis 5. Keskkonnamuutujate mõju kauride asustustihedusele kevadel.



Joonis 6. Kekkonnamuutujate mõju kauride esinemise tõenäosusele kevadel.



Joonis 7. Auli sügisese asustustiheduse prognoos.



Joonis 8. Kauride kevadise asustustiheduse prognoos.





### 3.3. Mudelite kvaliteet

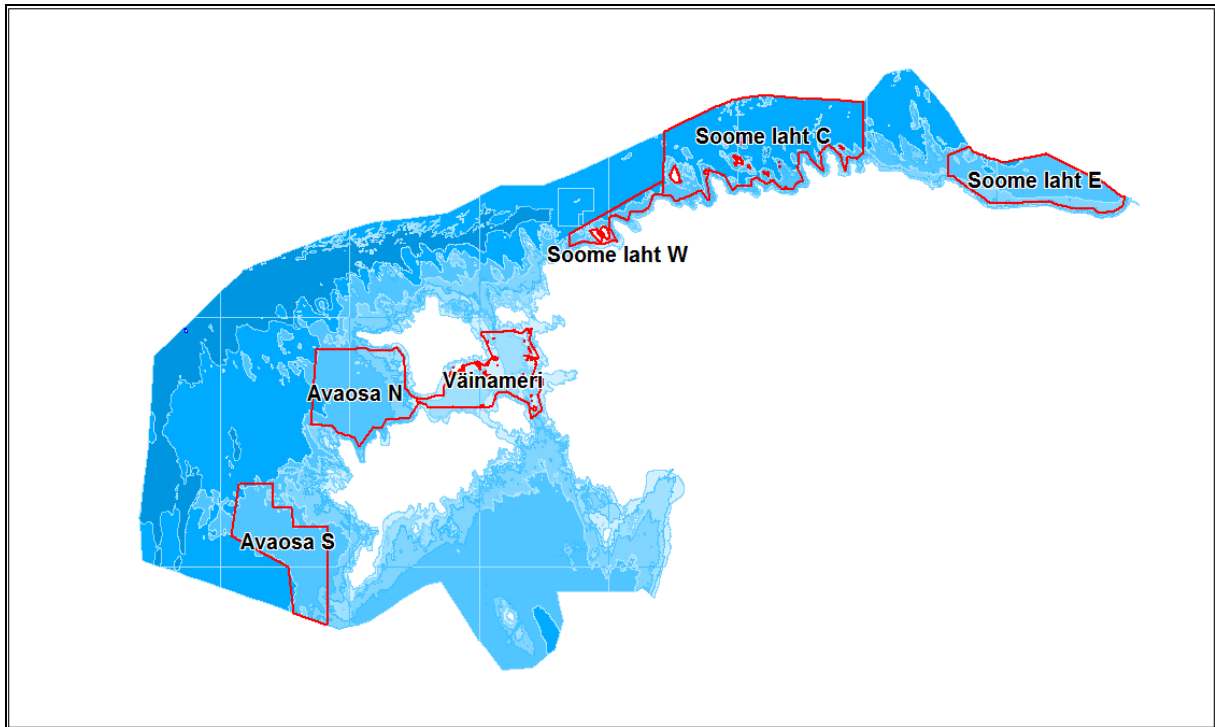
Mudelite suhteliselt madal kirjeldusvõime (16 – 22% esinemise tõenäosuse ja 40 – 46% asustustiheduse mudelitel) tundub olevat merelindudele iseloomulik, sarnased tulemused saadi ka kogu Läänemeres talvituvate veelindude modelleerimisel (Skov 2011). Lisaks keskkonnatingimustele sõltub lindude arvukus muudest, lindude endi, konkreetse aasta ilmastikutingimuste ja muu sellisega seotud teguritest.

Võrreldes mudeli põhjal prognoositud ja loendustulemuste põhjal arvatud asustustihedusi, saadi auli puhul korrelatsioonikordaja väärtuseks 0,29 ( $p < 0,01$ ). Võrdluseks kogu Läänemeres talvituvate aulide puhul oli korrelatsioonikordaja väärtus 0,43. Visuaalselt võib auli asustustiheduste prognoosi hinnata realistlikuks.

Kauride puhul jäi valideerimiseks valitud 20% andmete hulka ainult 16 loenduslõiku, kus liik esines. Statistiliselt olulist korrelatsiooni mudeli põhjal prognoositud ja loendustulemuste alusel arvatud asustustiheduste vahel ei leitud ( $\rho = 0,04$ ;  $p = 0,26$ ). Visuaalselt on kauride prognoosi paikapidavust raske hinnata. On võimalik, et kauride puhul on peatuvate lindude asustustiheduse ja keskkonnamuutujate vahelised seosed nõrgad, kogu Läänemeres talvitujate puhul saadi korrelatsioonikordaja väärtuseks 0,12.

#### 4. Lisauuringute ja kaitse vajaduste täpsustamine Eesti merealadel

Lähtuvalt lennu- ja laevaloendustega kaetusest analüüsiti esmaste inventuuride läbiviimise vajadust avamerel 2010. aastal (Eesti Ornitoloogiaühing 2010). Veidi muudetud kujul (Soome laht on jagatud osadeks) on inventeerimist vajavad alad kujutatud joonisel 9. Käesoleva töö tulemused võimaldavad alade uurimisvajaduse täpsustamist.



Joonis 9. Inventeerimist vajavad alad.

Uurimisvajaduse prioritseerimisel arvestati alade võimaliku tähtsusega auli peatumisalana, uurituse ja alade kaitstusega (tabel 5). Alade võimalikku tähtsust hinnati käesolevas töös koostatud prognoosi alusel. Loendusi on pärast alade esmast piiritlemist läbi viidud Soome lahes, kuid need on hõlmanud suhteliselt väikest pindala. Väinamerel on varasemalt teostatud lennuloendused kevadel. Kaitstuse hindamisel võeti aluseks alade kaetus Natura võrgustiku linnualadega. Kõiki komponente hinnati kolmepallises skaalas, sejärel tulemused summeeriti.

Kasutatud meetodika kohaselt võiks alad esmaste inventuuride läbiviimise vajaduse alusel reastada järgmiselt:

1. Soome lahe idaosa
2. Läänemere avaosa põhjapoolne ala
3. Soome lahe keskosa ja Läänemere avaosa lõunapoolne ala
4. Soome lahe lääneosa ja Väinameri.

Tabel 5. Inventuuride vajadus

Ala	Tähtsus auli peatumis- alana	Uuritus	Kaitstus	Summa
Soome lahe idaosa	2	2	2	6
Soome lahe keskosa	1	1	2	4
Soome lahe lääneosa	1	1	1	3
Väinameri	2	1	0	3
Läänemere avaosa põhjapoolne ala	1	2	2	5
Läänemere avaosa lõunapoolne ala	0	2	2	4

Tähtsus auli peatumisalana: 2-kõrge, 1-keskmine, 0-madal; uuritus: 2-uurimata, 1-osaliselt uuritud; kaitstus: 2-kaitsemata, 1-osaliselt kaitstud, 0-kaitstud.

## Kokkuvõte

Avamerel peatuvate veelindude asustustiheduse ja keskkonnamuutujate vahelise seose modelleerimiseks kasutati üldistatud aditiivseid mudeleid (GAM, generalized additive models). Käsitleti auli (*Clangula hyemalis*) põhjatoidulistest ja kaure (*Gavia arctica*, *G. stellata*) kalatoidulistest liikidest. Linnustiku andmed on kogutud laevaloendustel aastatel 2006-2013. Keskkonnamuutujate allikaks olid Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituudi poolt koondatud rasterkihid (Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituut 2014). Mudel loodi vabavaralise statistikatarkvara R 3.0.1 (R Core Team 2013) paketi mgcv (Wood 2014) abil. Kasutati kaheastmelise modelleerimise meetodikat (Skov 2011): koostati esinemise tõenäosuse mudel, millesse sõltuv muutuja sisestati binaartunnusena, ja asustustiheduse mudel ainult nende loenduslõikude andmetel, kus liik esines. Mudelite abil koostati vaadeldavate liikide asustustiheduse prognoos Liivi ja Soome lahe ning Läänemere avaosa (Eesti territoriaalmeres paiknev osa) kohta. Lõpliku prognoosi saamiseks korrutati esimese mudeli abil saadud esinemise tõenäosuse prognoos teise mudeli abil saadud asustustiheduse prognoosiga. Mudelite loomiseks valiti juhuslikult 80% andmetest, ülejäänud 20% abil valideeriti mudelite tulemusi.

Mudeli põhjal võib oletada, et peatuvate aulide levikut ja arvukust sügisel mõjutavad mere sügavus, merevee põhjakihi keskmine soolsus, vee läbipaistvus, vee põhjakihi keskmine temperatuur soojal poolaastal ja vee põhjakihi keskmine hoovuse kiirus; samuti koha koordinaadid. Prognoosi alusel võib eristada järgmised auli jaoks olulisemad alad: Pärnu laht, Ruhnu ümbrus, Saaremaa lõunarannikuga piirnev mereala, Hiiumaa põhja- ja edelarannikuga piirnev mereala, Väinameri ning Soome lahe idaosa. Mudeli põhjal prognoositud ja loendustulemuste põhjal arvatud asustustiheduste vahelise astakorrelatsioonikordaja väärtuseks saadi 0,29; visuaalselt võib prognoosi tulemust hinnata realistlikuks.

Peatuvate kauride asustustiheduse modelleerimine andis halvemaid tulemusi, usaldatavat korrelatsiooni mudeli põhjal leitud prognoosi ja loendustulemuste vahel ei leitud. Põhjuseks võivad olla nii kasutatud meetodika puudused kui ka üldine liigirühma asustustiheduse ja keskkonnamuutujate vaheliste seoste nõrkus.

Prognoosi tulemusi kasutati merealade esmase inventeerimise vajaduse täpsustamiseks. Esimene prioriteet peaks olema Soome lahe idaosa - potentsiaalne auli peatumisala, kus seni loendusi läbi viidud ei ole. Järgneb Läänemere avaosas asuv seni uurimata põhjapoolne ala.

## Kirjandus

Aunins et.al. 2013. Final results of the project GORWIND. Birds. <http://gorwind.msi.ttu.ee/result>

Eesti Ornitoloogiaühing 2010. Linnukaitseliselt väärtuslike merealade määratlemine Eesti territoriaalmeres ja majandusvööndis.

Kuus, A., Kalamees, A. (koost.) 2003. Euroopa Liidu tähtsusega linnualad Eestis.

R Core Team (2013). R: A language and environment for statistikal computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.

Skov et.al. 2011. Waterbird Populations and Pressures in the Baltic Sea.

Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituut 2014. Eesti territoriaalmeres merepõhja elupaikade ja liikide leviku modelleerimine.

Wood, S. 2014. Package mgcv: Mixed GAM Computation Vehicle with GCV/AIC/REML smoothness estimation. <http://cran.r-project.org/web/packages/mgcv/>

## LISA

Auli esinemise tõenäosuse mudel

```
Family: binomial
Link function: logit

Formula:
Kaurid_01 ~ s(Lonm) + s(Depth) + s(kd)

Parametric coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  -4.3036     0.2519  -17.08  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:
              edf Ref.df Chi.sq  p-value
s(Lonm)      6.426  7.450  40.30 2.00e-06 ***
s(Depth)     8.324  8.704  33.40 9.81e-05 ***
s(kd)        7.131  8.070  22.24 0.00472 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.0628  Deviance explained = 16.1%
UBRE score = -0.72429  Scale est. = 1          n = 2608
```

## Auli asutustiheduse mudel

Family: Gamma

Link function: log

Formula:

```
Aul_at_ymard ~ s(Lonm) + s(Depth) + s(Salinity) + s(kd) + s(temp_warm) +  
s(velocity)
```

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	5.06769	0.08729	58.06	<2e-16 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

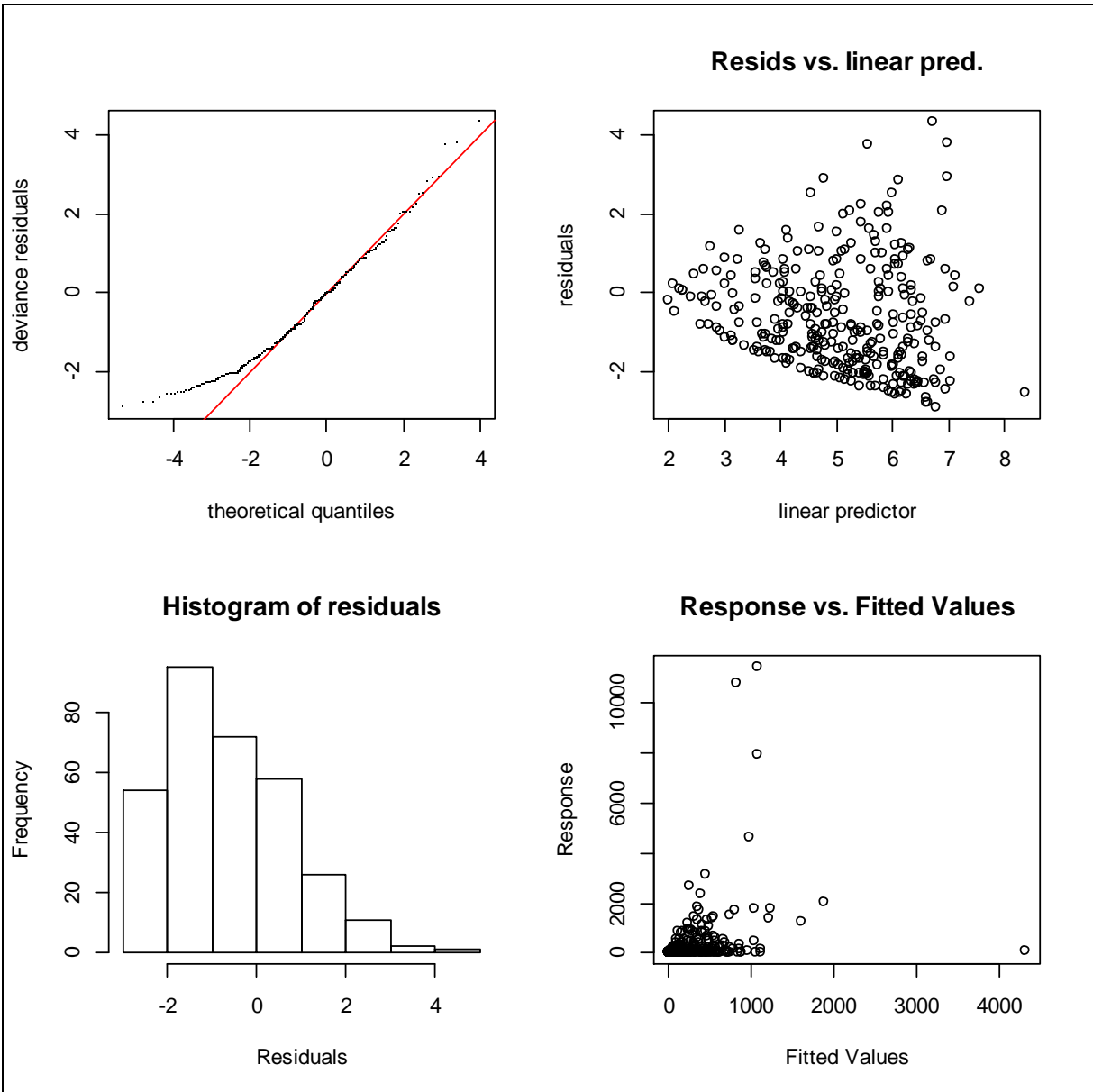
	edf	Ref.df	F	p-value
s(Lonm)	2.383	2.891	4.532	0.004693 **
s(Depth)	7.144	8.175	6.830	2.33e-08 ***
s(Salinity)	6.918	7.961	2.227	0.025850 *
s(kd)	6.362	7.509	3.475	0.001057 **
s(temp_warm)	8.193	8.810	3.516	0.000432 ***
s(velocity)	1.000	1.000	2.805	0.095067 .

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq. (adj) = -0.00721 Deviance explained = 39.7%

GCV score = 2.711 Scale est. = 2.4305 n = 319





## Kauride esinemise tõenäosuse mudel

```
Family: binomial
Link function: logit

Formula:
Kaurid_01 ~ s(Lonm) + s(Depth) + s(kd)

Parametric coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  -4.3036      0.2519  -17.08  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:
              edf Ref.df Chi.sq  p-value
s(Lonm)      6.426  7.450  40.30 2.00e-06 ***
s(Depth)     8.324  8.704  33.40 9.81e-05 ***
s(kd)        7.131  8.070  22.24 0.00472 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.0628   Deviance explained = 16.1%
UBRE score = -0.72429 Scale est. = 1           n = 2608
```

## Kauride asustustiheduse mudel

Family: Gamma

Link function: log

Formula:

Kaurid\_at\_ymard ~ s(Lonm) + s(Depth)

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	2.33869	0.05345	43.76	<2e-16 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	F	p-value
s(Lonm)	1.000	1.00	10.796	0.00148 **
s(Depth)	8.108	8.78	3.354	0.00161 **

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.272    Deviance explained = 46.1%

GCV score = 0.29808    Scale est. = 0.26568    n = 93

