

VISTU VANAGA *ACCIPITER GENTILIS* MONITORINGA PILNVEIDOŠANA UN DZĪVOTŅU PIEMĒROTĪBAS TELPISKĀ MODEĻA IZVEIDE

pārskats par pētījuma progresu 2024. gadā

saskaņā ar 2023. gada līgumu Nr. 5-5.5.1_000r_101_23_27,
kas noslēgts starp akciju sabiedrību “Latvijas valsts meži” un
Latvijas Universitāti



Starpziņojumu sagatavoja:
Andris Avotiņš

Rīga, 2025

Anotācija

Šajā dokumentā ir apkopoti iegūtie pētījuma projekta rezultāti un sniegta informācija par paveiktajiem darbiem dažādās aktivitātēs. No kopumā piecām aktivitātēm, šī starpziņojuma pārskata periodā ir veikts darbs divās. No kopumā 15 aktivitātēm, darbs norisinājies septiņās. Šajā ziņojumā raksturots progress uzsāktajām aktivitātēm.

Annotation

This document summarises the results obtained from the research project and provides information on the work carried out in the different activities. Out of a total of five activities, work has been carried out in two during the reporting period of this interim report. Out of a total of 15 activities, work has been carried out in seven. This report describes the progress of the activities undertaken.

Vāka foto: Dāvis Ūlands

Saturs

Tabulu un attēlu saraksts.....	4
Tabulu saraksts.....	4
Attēlu saraksts	4
Lietotie simboli un saīsinājumi.....	7
Ievads	8
2. Dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa izveidošana vistu vanagam LVM apsaimniekotajās zemēs.....	10
2.2. Vidi raksturojošu mainīgo un automatizētas darba plūsmas sagatavošana.....	11
2.3. Dzīvotņu piemērotības modeļu sagatavošana, to kvalitātes izvērtēšana, labākā modeļa identificēšana un pielāgošanai turpmākai prognozēšanai atbilstoši pieejamiem jauniem vides mainīgajiem	11
2.4. Modeļa kalibrēšana lauka apstākļos un papildus nepieciešamo datu ievākšana, iesaistot LVM darbiniekus (līdz 15 cilvēkdienām)	13
2.5. Modeļu pilnveidošana, izmantojot kalibrēšanas rezultātus.....	14
2.5.1. Sugas klātbūtni un vidi-kopumā raksturojošie punkti	14
2.5.2. Ekoģeogrāfisko mainīgo izvēle	17
2.5.3. Sugas izplatības modelis (parametrizācija un rezultāti)	18
2.5.4. Sugas populācijas aizsardzībai prioritārās vietas.....	26
2.6. Modeļa koncepcijas, algoritmu un praktiskās pielietošanas apraksta sagatavošana	29
3. Populācijas pārmaiņu monitoringa metodikas sagatavošana, izmantojot ekoloģiskās nišas analīzes rezultātus	30
3.3. Latvijas apstākļiem piemērotas vistu vanaga meža populācijas monitoringa programmas izstrāde, ietverot metodiku uzskaišu plānošanai, lauka darbu veikšanai, datu apkopošanai, analīzei un rezultātu interpretācijai	30
3.4. Aprakstu (instrukciju) sagatavošana metodikas praktiskai pielietošanai, t.sk. (1) uzskaišu veikšanai, (2) datu analīzei un interpretācijai.....	37
4. LVM valdījuma zemēs sastopamās vistu vanaga populācijas lieluma noteikšana	40
4.1. Vistu vanaga meža populācijas lieluma noteikšana, izmantojot nepilnīgas konstatēšanas kvantitatīvās ekoloģijas datu analīzes metodes	40
Informācijas avotu saraksts.....	41
Pielikumi	46

Tabulu un attēlu saraksts

Tabulu saraksts

1. tabula. ACCGEN ligzdošanas iecirkņa (<i>home range</i>) raksturojumi telemetrijas pētījumos.	10
2. tabula. Biežāk lietoto sliekšņa līmeņu projicētās dzīvotņu piemērotības raksturojums veicot klasifikāciju sugai piemērotajās un nepiemērotajās.	23
3. tabula. Multiplikatīvo populācijas pārmaiņu rādītāju interpretācija, izmantojot ticamības intervālu pieeju un tās ietekmes uz populācijas pārmaiņām raksturojums.	32

Attēlu saraksts

1. attēls. Sākotnējā vistu vanaga dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa projekcija.	12
2. attēls. Vistu vanaga dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa kalibrēšanai izvēlēto uzskaites punktu izvietojums (dzīvotņu piemērotība 1500 m rādiusā apzīmēta ar krāsu) un akciju sabiedrības “Latvijas valsts meži” meža zemes (ar pelēku).	13
3. attēls. Vistu vanaga dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa sagatavošanai izmantojamo novērojumu atlases gaita un beigu izvēles telpiskais izvietojums. A – novērojumu saglabāšanās atlases soļu gaitā; B – visu sākotnēji pieejamo novērojumu telpiskais izvietojums; C – ar vismaz iespējamu ligzdošanu saistāmo novērojumu, kas sasnieguši septīto atlases soli (100 m šūnas ar krustu, 1 km šūnas ar punktu); D – ar vismaz ticamu ligzdošanu saistāmo novērojumu, kas sasnieguši septīto atlases soli (100 m šūnas ar krustu, 1 km šūnas ar punktu); E – ar pierādītu ligzdošanu saistāmo novērojumu, kas sasnieguši septīto atlases soli (100 m šūnas ar krustu, 1 km šūnas ar punktu); F – modeļa apmācībai izvēlētas vietas (krusti apzīmē vidi-kopumā raksturojošās vietas, punkti – sugas novērojumu vietas); G – modeļa neatkarīgās testēšanas vietas (krusti apzīmē vidi-kopumā raksturojošās vietas, punkti – sugas novērojumu vietas).	16
4. attēls. Vistu vanaga dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa parametrizāciju salīdzinājums. Melnais punkts ir par labāko atzītā parametrizācija, pelēkie punkti raksturo pārējās izmēģinātās, fonā esošās blīvuma diagrammas raksturo katra mēra sadalījuma varbūtības blīvuma telpu.	21
5. attēls. Par labāko atzītās vistu vanaga dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa parametrizācijas nozīmīguma izvērtējums pret nulles modeļiem. Melnais punkts ir par labāko atzītā parametrizācija, pelēkie krusti raksturo nejaušības ekspektāciju tieši šīs parametrizācijas EGV informācijas telpā 100 izmēģinājumos, fonā esošās blīvuma diagrammas raksturo katra mēra nejaušā sadalījuma varbūtības blīvuma telpu.	22
6. attēls. Par labāko atzītās vistu vanaga dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa parametrizācijas projicētās dzīvotņu piemērotības karte. Krāsu skala raksturo relatīvo dzīvotņu piemērotību, kurā par vidējo vērtību ir izvēlēts vienādas sensitivitātes un specifiskuma līmenis modeļa apmācībai izmantotajos datos (biežāko lietotie klasifikācijas sliekšņa līmeņi ir otrajā tabulā). Kā ģeoreferencēts rastra slānis tā ir pieejama elektroniskajā pielikumā (“./BestHSmapi/BestHSmapi_ACCGEN.tif”).	22
7. attēls. Par labāko atzītās vistu vanaga dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa parametrizācijas projicētās dzīvotņu piemērotības klasifikācijā sagaidāmais pieskaitīšanas kļūdu (True Positive Rate – patiesi par piemērotām atzīto vietu īpatsvars jeb sensitivitāte; False Positive Rate – nepatiesi par piemērotām atzīto vietu īpatsvars jeb 1-specifiskums)	

apjoms un savstarpējā saistība modeļa apmācības un neatkarīgās testēšanas datos. Zilā līnija apzīmē modeļa apmācības un sarkanā – neatkarīgās testēšanas kopas.....	24
8. attēls. Marginālās atbildes funkcijas – katra EGV ietekme uz (cloglog) dzīvotņu piemērotību, pārējos kontrolējot stāvoklim to vidējās aritmētiskajās vērtībās. Punkti attēla daļu augšpusē raksturo sugas EGV vērtības sugas klātbūtnes vietās un attēla apakšdaļā – vidē kopumā.....	25
9. attēls. EGV nozīme labākajā sugas izplatības modeļa parametrizācijā (vidējais aritmētiskais un standartnovirze 99 permutācijās). Skaitļi attēla labajā malā ir VIF vērtības. 26	
10. attēls. Vietu prioritizēšanas sugas aizsardzībai rezultāti, izmantojot saskaitāmo ieguvumu funkciju (additive benefit function) iteratīvā izslēgšanas procesā (100 šūnas ik solī), uzskaiti veicot tikai šūnu vērtībām (A, B, C daļās) un šūnu vērtības izlīdzinot ar Gausa funkciju, kuras mēroga parametrs ir sugas ligzdošanas iecirkņa rādiuss (D, E, F daļās). Augšējā rindā (A un D) - vietu nozīmes aizsardzībā ranki; vidējā rindā (B un E) - aizsargātās dzīvotņu piemērotības (populācijas daļas) un populācijas izzušanas telpiskā riska saistība ar aizsardzībai plānojamo telpas daļu (nozīmes aizsardzībā ranku), kurai ar fona tonējumu ierosināts vienkāršots klasifikācijas variants, kas telpiski demonstrēts apakšējā rindā; apakšējā rindā (C un F) - ierosinātās vietu nozīmes sugas aizsardzībā klasifikācija, kur prioritārās vietas ir no aizsargātās šķietamās populācijas un izzušanas riska līkņu krustpunkta (C un E daļās) pa labi, augstas nozīmes ir zemāka ranka par prioritārajām, tādā apjomā, lai aptvertu piemērotajās dzīvotnēs (sliekšņa līmenis – vienāda sensitivitāte un specifiskums apmācību datos) sagaidāmo šķietamās populācijas daļu.	27
11. attēls. Sagaidāmie populācijas pārmaiņu rādītāji vīst vanaga populācijai, kura monitorēta 407 vietās ar sugas sastopamības varbūtību ~13 %, iestrādājot stabilu populāciju desmit gadu garumā un visu sistēmu (datu ģenerēšanas un analīzes procesu) veicot 100 simulācijās (individuālās ģeometrijas attēlu daļās). Pārmaiņu rādītāju klasifikācija atspoguļo TRIM lietoto. Sugas konstatēšanas varbūtības ietekme dažādās uzskaitēs ir pieņemta no 2024. gada lauka darbos novērotās. Attēla daļās ir sagaidāmie rezultāti ar dažādu monitoringa piepūli: A un B – veicot visas trīs akustiskās uzskaites; C un D – veicot pirmo un ceturto uzskaiti; E un F – veicot otro un ceturto uzskaiti; G un H – veicot pirmo un otro uzskaiti. Katra uzskaišu komplekta rezultāti demonstrēti kā gadu indeksi (kreisās puses attēli A, C, E un G) un populācijas pārmaiņu rādītāji (labās puses attēli B, D, F un H). Visās attēla daļās punktētā līnija pret vērtību 1 nozīmē stabilu populāciju un pelēkā zona ap to – klasifikācijā izmantoto intervālu; gadu indeksiem rozā līnija apzīmē simulācijā iestrādāto pārskata perioda beigu populācijas relatīvo lielumu, tā ikgadējo pārmaiņu apjoms tendences klasifikācijā (labās puses attēlos) ir ar nepārtrauktu melnu līniju.....	33
12. attēls. Sagaidāmie populācijas pārmaiņu rādītāji vīst vanaga populācijai, kura monitorēta 407 vietās ar sugas sastopamības varbūtību ~13 %, iestrādājot divkāršu samazinājumu piecu gadu garumā un visu sistēmu (datu ģenerēšanas un analīzes procesu) veicot 100 simulācijās (individuālās ģeometrijas attēlu daļās). Apzīmējumi kā 11. att.....	34
13. attēls. Sagaidāmie populācijas pārmaiņu rādītāji vīst vanaga populācijai, kura monitorēta 60 vietās ar sugas sastopamības varbūtību ~13 %, iestrādājot divkāršu samazinājumu piecu gadu garumā un visu sistēmu (datu ģenerēšanas un analīzes procesu) veicot 100 simulācijās (individuālās ģeometrijas attēlu daļās). Apzīmējumi kā 11. att.....	35
14. attēls. Sagaidāmie populācijas pārmaiņu rādītāji vīst vanaga populācijai, kura monitorēta 407 vietās ar sugas sastopamības varbūtību ~13 %, iestrādājot divkāršu pieaugumu piecu gadu garumā un visu sistēmu (datu ģenerēšanas un analīzes procesu) veicot 100 simulācijās (individuālās ģeometrijas attēlu daļās). Apzīmējumi kā 11. att.....	35
15. attēls. Sagaidāmie populācijas pārmaiņu rādītāji vīst vanaga populācijai, kura monitorēta 60 vietās ar sugas sastopamības varbūtību ~13 %, iestrādājot divkāršu	

pieaugumu piecu gadu garumā un visu sistēmu (datu ģenerēšanas un analīzes procesu) veicot **100 simulācijās** (individuālās ģeometrijas attēlu daļās). Apzīmējumi kā 11. att.....36

Lietotie simboli un saīsinājumi

- ACCGEN – vistu vanags *Accipiter gentilis*
AUC – angļu valodā *Area Under receiver operating Curve*, latviski – telpa zem modeļa operēšanas līknes, kas raksturo klasifikācijas spēju
DAP – Dabas aizsardzības pārvalde
KD – režģa blīvums (*kernel density*)
LAD – Lauku atbalsta dienests
LDF – Latvijas dabas fonds
LĢIA – Latvijas ģeotelpiskās informācijas aģentūra
LPU – Ligzdojošo putnu uzskaites – Latvijas Ornitoloģijas biedrības organizēts brīvprātīgo uzskaišu veicēju monitorings parasto putnu sugām
LPPM – Ligzdojošo plēsīgo putnu fona monitorings – Latvijas Ornitoloģijas biedrības organizēts brīvprātīgo uzskaišu veicēju monitorings plēsīgo putnu (dienas un nakts) sugām
LU – Latvijas Universitāte
LVM – akciju sabiedrība “Latvijas valsts meži”
M – mātīte (dzimums)
MCP – mazākā pārklājuma poligons (*minimum convex polygon*)
MVR – Valsts Meža dienesta uzturētais Meža valsts reģistrs
PD – 2009. gada 30. novembra Padomes Direktīva 2009/147/EEK par savvaļas putnu aizsardzību
PD12p – ziņojums sakarā ar 2009. gada 30. novembra Padomes Direktīva 2009/147/EEK par savvaļas putnu aizsardzību 12. pantu
VMD – Valsts meža dienests
T – tēviņš (dzimums)
TRIM – angļu valodā *Trends and Indices for Monitoring data*, tas ir monitoringa datu apstrādes rīks populācijas relatīvā lieluma un tā pārmaiņu rādītāju aprēķināšanai
TSS – angļu valodā *True Skill Statistic*, latviski – patiesās spējas statistika

Ievads

Vistu vanags *Accipiter gentilis* ir suga ar plašu izplatības areālu, kas aptver vairumu ziemeļu puslodes mežu (BirdLife International, 2022). Plašā izplatības areāla un lielās kopējās populācijas dēļ, suga gan globāli, gan Eiropā ir novērtēta kā “zemākā apdraudējuma” (*Least concern*; BirdLife International, 2021). Tomēr Eiropā kopumā sugas populāciju pārmaiņu rādītājs gan īstermiņā, gan ilgtermiņā ir ar negatīvu tendenci – populācijas lielums samazinās (Eionet, 2020).

Latvijā, izmantojot kombinētus ligzdojošo putnu fona monitoringa (Auniņš and Mārdega, 2020) un ligzdojošo plēsīgo putnu fona monitoringa (Avotiņš, 2021) datus, 2007.-2018. gados populācija ir samazinājusies par 79.53%, kas ir straujākās pārmaiņas Eiropā (Eionet, 2020). Līdzīga tendence –samazinājums – ir konstatēts salīdzinot sugas reģistrēto sastopamību starp 1980.-1984. un 2000.-2004. kā arī starp 2000.-2004. un 2013.-2017. gados Latvijā veiktajiem ligzdojošo putnu atlantiem (Ķerus et al., 2021). Šo iemeslu dēļ, vistu vanaga populācijas stāvoklis Latvijā tiek vērtēts kā “apdraudēts” (*Endangered*; Ķerus et al., 2021).

Lai gan vistu vanagam ir zināmas divas ekoloģiskās nišas – pilsētvidi apdzīvojošā un mežu masīvu atkarīgā, Latvijā kopumā suga ir uzskatāma par mežos ligzdojošu ar izteiktu preferenci mežu masīviem un vietām dziļāk mežos (Bergmanis et al., 2017). Tādēļ populācijas samazinājumu ietekmējošie faktori, visticamāk, ir saistāmi ar notikumiem mežos. Tā kā lielāko mežu masīvu apsaimniekotājs Latvijā ir akciju sabiedrība “Latvijas valsts meži”, uzņēmumam ir nozīmīgi papildināt zināšanas par šīs sugas ekoloģiju, populācijas izmaiņām un prognozēt mežsaimniecības potenciālo ietekmi uz dzīvotņu piemērotību ilgtermiņā.

Pētījuma mērķis: sniegt ieteikumus LVM īstenotā vistu vanaga monitoringa uzlabošanai un izstrādāt dzīvotņu piemērotības modeli, kas izmantojams plānojot mežsaimniecības potenciālo ietekmi sugai.

Pētījuma uzdevumi (kas sakrīt ar projekta aktivitātēm un tālāk izmantoti nodaļu dalījuma) ar apakš-uzdevumiem un plānotajiem izpildes termiņiem:

1. Vistu vanaga ligzdošanas sekmju monitoringa metodikas pilnveidošana:

1.1. Pētījums ligzdošanas sekmju novērtēšanai un monitoringa rezultātu salīdzināšanai, paralēli veicot uzskaites Izpildītājam un LVM darbiniekiem (01.08.2023.);

1.2. Pētījums ligzdošanas sekmju novērtēšanai un monitoringa rezultātu salīdzināšanai, paralēli veicot uzskaites Izpildītājam un LVM darbiniekiem (01.10.2023.);

1.3. Rekomendāciju sagatavošana vistu vanaga ligzdošanas sekmju monitoringa metodikas pilnveidošanai, papildus nosakot apsekošanai paredzamo ligzdu skaitu statistiski ticamu rezultātu iegūšanai (15.12.2023.)

2. Dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa izveidošana vistu vanagam LVM apsaimniekotajās zemēs:

2.1. LVM rīcībā esošo un citu pieejamo vidi raksturojošo datu apkopošana un piemērotības izvērtēšana modeļa izveidei (15.09.2023.);

2.2. Vidi raksturojošu mainīgo un automatizētas darba plūsmas sagatavošana (15.04.2024.);

2.3. Dzīvotņu piemērotības modeļu sagatavošana, to kvalitātes izvērtēšana, labākā modeļa identificēšana un pielāgošana turpmākai prognozēšanai atbilstoši pieejamiem jauniem vides mainīgiem (15.04.2024.);

2.4. Modeļa kalibrēšana lauka apstākļos un papildus nepieciešamo datu ievākšana (15.08.2024.);

2.5. Modeļu pilnveidošana, izmantojot kalibrēšanas rezultātus (15.12.2024.);

2.6. Modeļa koncepcijas, algoritmu un praktiskās pielietojšanas apraksta sagatavošana (15.12.2024.);

3. Populācijas pārmaiņu monitoringa metodikas sagatavošana, izmantojot ekoloģiskās nišas analīzes rezultātus:

3.1. Pieejamās informācijas par vistu vanaga skaitu Latvijā, tā dinamiku un šo parametru noteikšanas metodiku apkopošana (01.09.2023.);

3.2. Vistu vanaga populāciju pārmaiņu monitoringa metodisko risinājumu un rezultātu izvērtēšana Baltijas reģiona valstīs (01.09.2023.);

3.3. Latvijas apstākļiem piemērotas vistu vanaga meža populācijas monitoringa programmas izstrāde, ietverot metodiku uzskaišu plānošanai, lauka darbu veikšanai, datu apkopošanai, analīzei un rezultātu interpretācijai (15.12.2024.);

3.4. Aprakstu (instrukciju) sagatavošana metodikas praktiskai pielietošanai, t.sk. (1) uzskaišu veikšanai, (2) datu analīzei un interpretācijai (15.12.2024.);

4. LVM valdījuma zemēs sastopamās vistu vanaga populācijas lieluma noteikšana:

4.1. Vistu vanaga meža populācijas lieluma noteikšana, izmantojot nepilnīgas konstatēšanas kvantitatīvās ekoloģijas datu analīzes metodes (15.12.2025.);

5. Publikācijas(-u) sagatavošana par pētījuma rezultātiem:

5.1. Vismaz viena publikācija, pieņemta publicēšanai (15.12.2025.).

2. Dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa izveidošana vistu vanagam LVM apsaimniekotajās zemēs

Vistu vanags ir suga ar plašu izplatības areālu, kas cirkumpolāri aptver ziemeļu puslodes mežu zonu (BirdLife International, 2022). Sugai primāri raksturīga ligzdošana nobriedušos mežos, galvenokārt skujkoku, tomēr izmantojot arī jauktu koku un dažādas lapu koku mežaudzes, nereti izcirtumu un meža malu tuvumā (del Hoyo et al., 1994). Sugai ir zināma ligzdošana arī pilsētās, kas liek domāt par potenciāli atšķirīgu ekoloģisko nišu, tomēr Latvijā Rīgā un mežos ligzdojošā populācija ir līdzīga pēc ģenētiskās daudzveidības (Sprūde, 2023). Dažādos Baltijas jūras reģionā veiktos pētījumos ACCGEN ir saistīts ar mežu masīvu iekšieni (Bergmanis et al., 2017; Björklund et al., 2015; Čerkauskas et al., 2016), nobriedušām mežaudzēm (Bergmanis et al., 2017; Björklund et al., 2020b; Björklund et al., 2015; Čerkauskas et al., 2016; Lõhmus, 2006) ar lielu krāju (jo sevišķi egļu, kurām mistrojumā ir lapu koki; Björklund et al., 2020b; Björklund et al., 2015; Čerkauskas et al., 2016; Lõhmus, 2006). Ligzdas koka un nogabala izvēlē priekšroka tiek dota nobriedušām mežaudzēm (ap vai virs galvenās cirtes vecuma) un kokiem (Bergmanis et al., 2017; Björklund et al., 2020b; Björklund et al., 2015; Čerkauskas et al., 2016; Lõhmus, 2006).

1. tabula. ACCGEN ligzdošanas iecirkņa (*home range*) raksturojumi telemetrijas pētījumos.

Avots	Vide	Veids	Mediāna (ha)	Vidējais aritmētiskais ± standartnovirze (ha)	Min (ha)	Max (ha)	Izlase (n)	Dzimums
(Rutz, 2006)	Urbānā	MCP 100%	-	863	480	1189	3	T
(Rutz, 2006)	Urbānā	MCP 95%	-	421	354	568	3	T
(Boal et al., 2001)	Rurālā (meži)	MCP 100%	-	2674	860	8573	38	Vidējais (starp dzimumiem)
(Boal et al., 2001)	Rurālā (meži)	MCP 100%	-	3006 ± 689	-	-	21	T
(Boal et al., 2001)	Rurālā (meži)	MCP 100%	-	2649 ± 596	-	-	17	M
(Boal et al., 2001)	Rurālā (meži)	MCP 100%	-	2827 ± 446	-	-	11	Pāris
(Blakey et al., 2020)	Rurālā (meži)	KD 95%	3218	3606 ± 433	-	-	33	Vidējais (starp dzimumiem)
(Blakey et al., 2020)	Rurālā (meži)	KD 95%	3925	-	-	-	-	T
(Blakey et al., 2020)	Rurālā (meži)	KD 95%	1619	-	-	-	-	M

ACCGEN visā izplatības apgabalā ir raksturīgs nometniecisks dzīvesveids (BirdLife International, 2022), tomēr ir zināma arī migrāciju uzvedība un natālā dispersija, kas raksturīgāka jauniešiem putniem (Saurola et al., 2013; Väli and Vainu, 2013). Tomēr pieaugušajiem putniem, jo sevišķi tēviņiem, ir raksturīga saistība ar ligzdošanas vietu mūža garumā un samērā nelielas pārcelšanās distances (Saurola et al., 2013; Tolvanen et al., 2017). Tādēļ, plānojot dzīvotņu piemērotības analīzi, ir nepieciešams ņemt vērā sugas ligzdošanas iecirkņa izmērus.

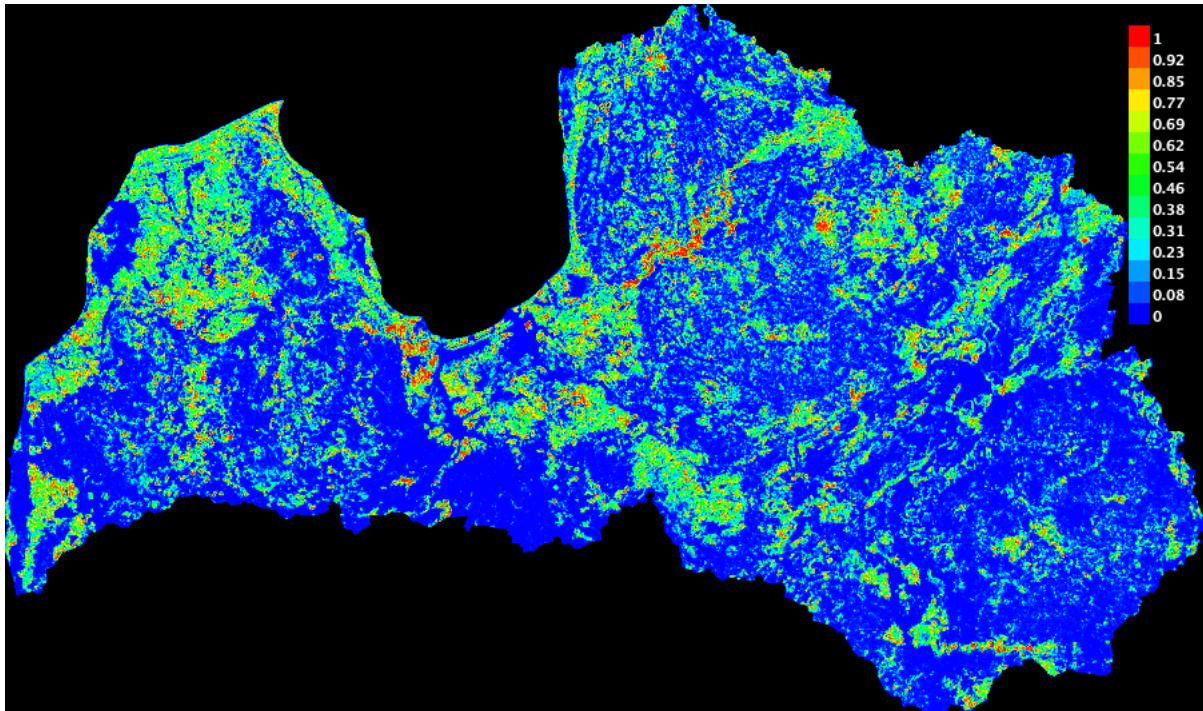
Lielākoties, ar uzticamām metodēm (radio- vai GPS-telemetriju) veikti ACCGEN ligzdošanas iecirkņa izmēra pētījumi, norisinājušies Z-Amerikā, tie aptver gan urbāno, gan rurālo vidi un ir apkopoti 1. tabulā. Šajā tabulā redzams, ka ACCGEN teritorijas lielums ir svārstīgs un kopumā urbānajā vidē teritorijas ir mazāka izmēra.

2.2. Vidi raksturojošu mainīgo un automatizētas darba plūsmas sagatavošana

Projekta īstenošanai LU ir apkopojusi dažādus klimatu un laika apstākļus, zemes lietojumu un segumu kā arī attālumus līdz noteiktiem tā objektiem un sugas dzīvotņu kvalitāti netieši raksturojošus datu avotus. No tiem ir sagatavoti ekoģeogrāfiskie mainīgie – ģeoreferencēti sugas ekoloģijas saistībā ar tās izplatību izmantojami vides raksturojumi, lietošanai sugas izplatības modeļos. Šī procedūra ir pilnībā izpildīta ar komandu rindām, kuru darbība ir testēta vairākās operētājsistēmās, ir iegūti un pārbaudīti konteinerizētas programmatūras risinājumi. Komandu rindas ar to sekmīgai izpildei paredzētajam ievades datu izvietojumam nepieciešamo direktoriju koku, kopā ar konteinerizētās vides ieguvu un komandu rindu un to sagatavoto produktu konspektīviem aprakstiem ir pieejamas publiskā github repozitorijā: https://github.com/aavotins/ACCGEN_LVM.

2.3. Dzīvotņu piemērotības modeļu sagatavošana, to kvalitātes izvērtēšana, labākā modeļa identificēšana un pielāgošanai turpmākai prognozēšanai atbilstoši pieejamiem jauniem vides mainīgajiem

Pirms lauka darbu veikšanas, 2024. gada februārī izstrādāta ACCGEN dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa sākotnējā (padziļināti parametrizējamā un lauka darbos kalibrējamā) versija ar prognozes rastra izšķirtspēju 500 m (1. att.). Modelis sagatavots, izmantojot maksimuma entropijas pieeju, kas paredzēta vides apstākļu (ekoģeogrāfisko mainīgo vērtību) drošas klātbūtnes vietās analītiskai attiecināšanai pret vidi kopumā, ko raksturo nejauši izvēlētas vietas, neatkarīgi no statistiskajiem pieņēmumiem par sugas faktisko klātbūtni vai iztrūkumu tajās.



1. attēls. Sākotnējā vistu vanaga dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa projekcija.

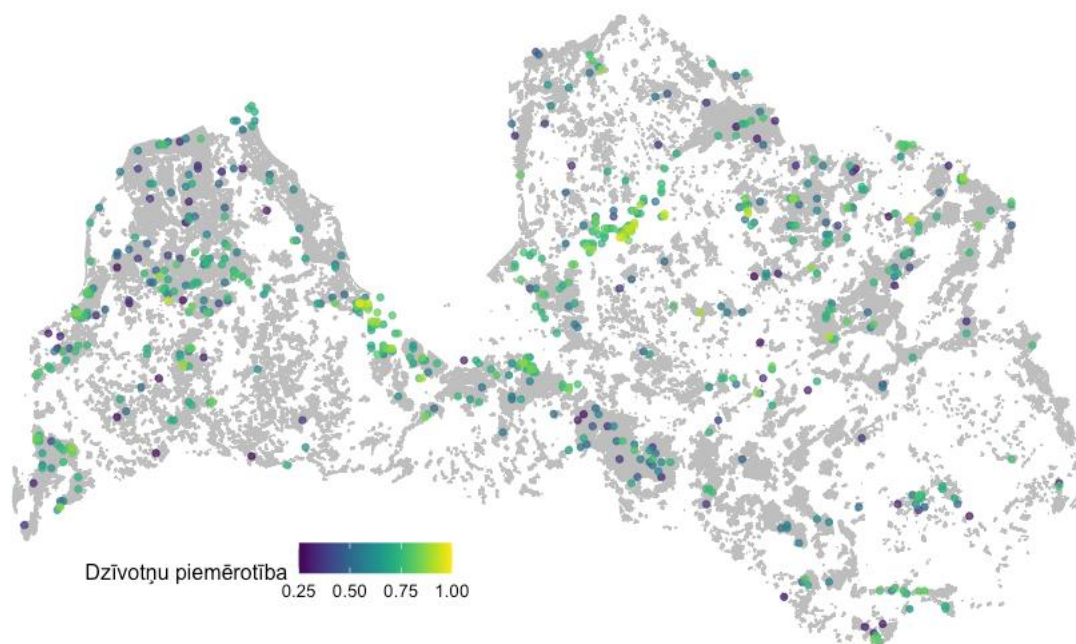
Modeļa sagatavošanā apkopotas LVM zināmās ACCGEN ligzdu atrašanās vietas un dabas novērojumu ģeoportālā dabasdati.lv reģistrētie vistu vanaga novērojumi. No LVM datubāzes izmantotas 253 ligzdu, kuru tuvumā (līdz 300 m rādiusā) kopš pēdējās drošās sugas klātbūtnes konstatēšanas nav MVR reģistrēta koku ciršana, atrašanās vietas. No dabasdati.lv izmantotas tikai uz ticamu un pierādītu ligzdošanu attiecināmo novērojumu atrašanās vietas, kuru tuvumā (līdz 300 m rādiusā) kopš novērojuma nav MVR reģistrēta koku ciršana un novērojumi atrodas vismaz 1500 m no CLC 2018 pirmās grupas (apbūves teritorijas) kopā veidojot 121 vietu.

Kopumā sagatavoti 155 modeļi (katrs ar 10 krosvalidācijām), izmantojot visas iespējamās pazīmju-algoritmu kombinācijas, parametrizējot regularizāciju (0.2, 0.5, 1, 2, 5). Vides kopumā raksturošanai izmantota vienmērīga fona punktu izvēle. Par labāko pirmskalibrācijas modeli atzīts modelis ar ekoloģiski pamatotām atbildes funkcijām un zemāko krosvalidāciju-mediāno AICc vērtību.

Sākotnējā modeļa dzīvotņu piemērotības projekcija izmantota lauka darbu veikšanas vietu stratificēti nejaušai izvēlei, kas papildināta ar vietu izvietojanu pie ceļiem (ērtības paraugošana), tomēr nodrošinoties, ka tiek pietiekami pārstāvēts viss analīzēm nepieciešamais vides gradients. Izmantotā vietu izlozes gaita:

1. visa valsts teritorija, uzskaites vietu telpiskās neatkarības nodrošināšanai (Avotiņš jun. and Lebus, 2018), iedalīta 1500 x 1500 m kvadrātu tīklā (LKS-92; EPSG:3059), kuram aprēķināta vidējā dzīvotņu piemērotība. Šūnas iedalītas dzīvotņu piemērotības grupās:
 - a) augsta piemērotība: no 0.7 līdz 1 (galapunktus ieskaitot);
 - b) vidēji augsta piemērotība: no 0.5 (ieskaitot) līdz 0.7 (neieskaitot);
 - c) vidēji zema piemērotība: no 0.25 (ieskaitot) līdz 0.5 (neieskaitot);
2. lauka datu veikšanas atvieglošanai, no tīkla (katras piemērotības grupas) atlasītas tikai tās šūnas, kuru centri ir līdz 333 m attālumā no LĢIA topogrāfiskajā kartē (M:10000) vai LVM atvērto datu reģistrā ievietotajos datos atrodamajiem ceļiem;
3. no atlikušajiem punktiem atlasīti tie, kuri ir vismaz 1500 m no tuvākās CLC 2018. gada klasifikācijas pirmās grupas laukumiem;

4. no atlikušajiem punktiem nejauši atlasīti analīzei piemērotu apjomu veidojoši un dzīvotņu piemērotības gradientu pārstāvoši punkti, kurus analogi izvietojot maršrutos netiek pārsniegts pieejamais lauka dienu skaits. Maršrutēšanai izmantota vietne maps.google.com. Vairums no tiem, finansējuma (apsekošanas laika) samazināšanai, manuāli pārvietoti uz ceļiem un aprēķināta 1500 m buferī ap tiem esošā dzīvotņu piemērotība. Izlozētais punktu apjoms (2. att.):
 - a) augstākā piemērotībā: 349;
 - b) vidēji augstā piemērotībā: 175;
 - c) vidēji zemā piemērotībā: 88.



2. attēls. Vistu vanaga dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa kalibrēšanai izvēlēto uzskaites punktu izvietojums (dzīvotņu piemērotība 1500 m rādiusā apzīmēta ar krāsu) un akciju sabiedrības “Latvijas valsts meži” meža zemes (ar pelēku).

2.4. Modeļa kalibrēšana lauka apstākļos un papildus nepieciešamo datu ievākšana, iesaistot LVM darbiniekus (līdz 15 cilvēkdienām)

Lauka darbu veikšanas izlozēti 612 uzskaišu punkti, to apsekošanai sagatavota lauka darbu veikšanas metodika (1. pielikums). 32 uzskaišu punktos divas no trim akustiskajām uzskaitēm (6 cilvēkdienas) veica LVM vides eksperti (ornitologi), vienu – LU darbinieki. No atlikušajiem 580 uzskaišu punktiem 7 uzskaites nav veiktas sakarā ar militāro objektu apmeklēšanas ierobežojumiem un 1 – dabā neeksistējoša ceļu tīkla dēļ, 4 uzskaites punktos veikta tikai viena uzskaite, 3 – divas uzskaites un 565 – visas metodikā noteiktās akustiskās uzskaites.

Vistu vanaga klātbūtne vismaz vienā no apsekojumiem konstatēta 66 staciju apkārtnē ar sekojošu sadalījumu:

1. pirmajā uzskaitē suga konstatēta 52% no visām vietām;
2. otrajā – 27%;

3. ceturtajā – 32%;
 4. pirmajā vai otrajā – 76%;
 5. pirmajā vai ceturtajā – 74%;
 6. otrajā vai ceturtajā – 55%;
 7. kādā no akustiskajām uzskaitēm (bez ligzdu pārbaudēm, kuras obligāti bija paredzētas tikai tajās teritorijās, kur sugas klātbūtne konstatēta pirmajā vai otrajā akustiskajā uzskaitē) – 95%;
 8. tikai pirmajā – 41%;
 9. tikai otrajā – 21%;
 10. tikai ceturtajā – 20%;
 11. tikai ligzdu apsekojumos vietās, kurās tas nebija noteikts saskaņā ar metodiku – 3%;
- šis sadalījums lieliski demonstrē nepilnīgo sugas konstatēšanu pat ar specializētu pieeju un kārtējo reizi apstiprina, ka jebkuros sugas sastopamības pētījumos (piemēram, monitoringā, populācijas lieluma noskaidrošanā, ietekmes uz vidi novērtējumos u.tml.) šo kvantitatīvās ekoloģijas aspektu ir nepieciešams ņemt vērā gan datu analīzē, gan lauka darbu plānošanā un veikšanā. Jāuzsver, ka augstāk norādītie īpatsvāri nav interpretējami kā sugas konstatēšanas varbūtības, jo nav zināma patiesā sugas sastopamība (pat neņemot vērā piebildes 7. un 11. punktus), kas analītiski risināma kā latentais stāvoklis.
- Lauka darbu ietvaros atrastas 36 jaunas lielās ligzdas, no tām 12 ACCGEN. Modeļa kalibrēšanas lauka darbos apsektas 46 LVM apsaimniekotajās zemēs esošas ligzdas - to stāvoklis raksturots 2. pielikumā.

2.5. Modeļu pilnveidošana, izmantojot kalibrēšanas rezultātus

Līdz ar 2024. gada lauka darbu sezonu uzsākts darbs pie pilnībā reproducējamās sugas izplatības modelēšanas pieejas izstrādes, lai būtu iespējams nodrošināt šī darba replicēšanu un turpmāku praktisko pielietojumu. Visas tam nepieciešamās komandu rindas ir apkopotas publiskā github repozitorijā: https://github.com/aavotins/ACCGEN_LVM. Šī darba ietvaros pārveidoti ievades dati, lai dzīvotņu piemērotību sugai projicētu rastra šūnās ar malas garumu 100 m – tāpat 25 reizes augstākā izšķirtspējā par sākotnējo modeli. Pilnveidota arī modeļa sagatavošanas, parametrizācijas, izvēles un izvērtēšanas procedūra. Modelis sagatavots ar atšķirīgām ievades vietām (sugas novērošanas un vidi-kopumā raksturojoši punkti), tā izvērtēšanai izmantoti 2024. gada lauka darbos iegūtie dati.

2.5.1. Sugas klātbūtni un vidi-kopumā raksturojošie punkti

Kopumā šim pētījumam ir iegūtas ir 13 datu kopas. Tās ir apvienojamas plašākās grupās pēc datu rakstura un būtības:

1. pētnieki, eksperti, gredzenotāji:
 - a) ar sistemātisku datu ieguvu un padziļinātu sugu izpēti strādājošu putnu pētnieku (D. Ūlanda, A. Avotiņa, E. Lediņa, I. Jakovļeva, A. Kalvāna, J. Ķuzes, E. Račinska) personīgo un uzturētajās datubāzēs (daļa, kuras atvēršana nepārkāpj sugu aizsardzības un datu drošības normas, personu līgumsaistības) esošo lauka novērojumu apkopojums;

b) nozīmīgāko ar lielo ligzdu apdzīvošanu saistīto sugu aizsardzības un izpētes projektu, kuros notikuši apjomīgi lauka darbi kopš 2016. gada, novērojumi. Šie projekti ir:

- i) Latvijas Dabas fonda īstenotais projekts “Mazā ērgļa aizsardzība Latvijā” (LIFE AQPOM Nr.LIFE 13 NAT/LV/001078);
- ii) Latvijas Universitātes īstenotā AS “Latvijas valsts meži” pasūtītā zinātniskās izpētes projekta “Vistu vanaga *Accipiter gentilis* monitoringa pilnveidošana un dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa izveide” (AS “Latvijas valsts meži” dokumenta Nr. 5-5.5.1_000r_101_23_27_6) 2023. gada lauka darbu dati;

2. monitoringu dati:

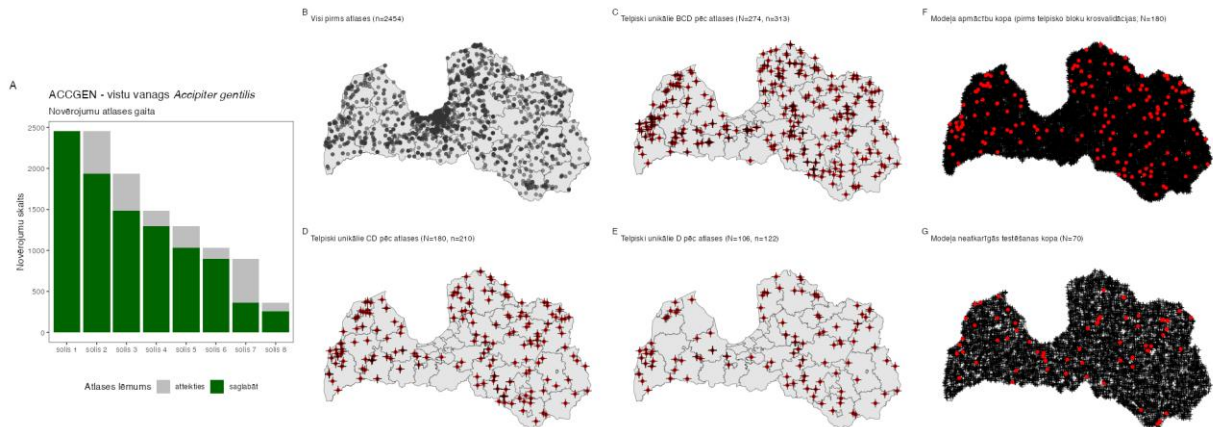
- a) “Plēsīgo putnu fona monitoringa” dati no 2017. līdz 2023. gada lauka darbu sezonām;
- b) “Ligzdojošo putnu uzskaites” dati par 2023. gada lauka darbu sezonu;
- c) oportunistiski dabas draugu novērojumi dabas novērojumu no portāla dabasdati.lv [SQL-dump: 2023-12-01];
- d) DAP dabas datu pārvaldības sistēmas OZOLS brīvpieejas informācija [lejupielāde: 2024-11-17].

Datu meklēšanas komunikācijā un sākotnējās apkopošanas procesā pieprasīti tikai kā punkti reģistrēti novērojumi. Šajās datu kopās apkopotā informācija izmantota suga izplatības modeļu apmācībai, validācijai un testēšanai. Protams, pirms modeļa sagatavošanas ir nepieciešama datu tīrīšana - tikai uzticamo novērojumu atlase no vietām, kurās nav notikušas ievērojamas vides pārmaiņas, izslēdzot dublikātus u.tml.. Pirms precīzākas novērojumu atlases veikšanas, uzreiz izslēgti tie novērojumi, kuri apraksta neapdzīvotas ligzdas vai komunicē neprecīzas koordinātes. Dabasdatu kopā izslēgti novērojumi, kurus reģistrējušai personai uzticamības līmenis atzīmēts kā “Apzinātas muļķības” vai “Biežas kļūdas elementārās lietās”.

Novērojumu atlase sugu izplatības modelēšanai veikta vairākos soļos:

1. solis: tikai vistu vanaga novērojumi;
2. solis: modeļa apmācībai novērojumi no 2017-01-01 līdz 2023-12-01 un tikai tie, kuri attiecas uz ziņošanas laika periodu, kas nepārsniedz 10 dienas un nav mazāks par -1 dienu;
3. solis: dublieru izslēgšana – gan no ik viena datu avota, gan visu novērojumu kopas;
4. solis: to novērojumu izslēgšana, kas atrodas Corine Land Cover mākslīgā zemes seguma vai ūdens klasēs (dalījums redzams repozitorija komandu rindās);
5. solis: tikai to novērojumu atlase, kas veikta starp gada 91. un 228. dienām jeb laikā, kas raksturo sugas ligzdošanas sezonu (ligzdas ar olām vai mazuļiem);
6. solis: tikai to novērojumu saglabāšana, kuru 100 m šūnās vai 3000 m rādiusā ap to centriem nav novērotas koku vainagu seguma vai cita veida zemes seguma pārmaiņas, kas ir lielākas par 10% (izvēlēts arbitrāri kā iedomāta liela koka vainaga vai nelielas koku grupas iespējamās ietekmes apjoms mazākajā no mērogiem - analīzes šūnā);
7. solis: novērojums atrodas vismaz 3000 m no Corine Land Cover mākslīgās vides. Šis kritērijs ieviests, lai izplatības modelēšanu fokusētu “meža” vanagiem, attālums ir apmēram sugai raksturīgais ligzdošanas iecirkņa rādiuss (1. tabula). Neatkarīgās testēšanas datus pieņemts attālums 1500 m – puse no ligzdošanas iecirkņa rādiusa, jo datu ieguvē ir izmantota provocēšana, kas ierosina sugas pārvietošanos;
8. solis: atlikušo novērojumu izvietojuma un apjoma vērtēšana saistībā ar ligzdojošo putnu atlantos izmantotajām ligzdošanas ticamības pakāpēm un telpiskā filtrēšana. Telpiskās filtrēšanas ietvaros nejauci izvēlēts tikai viens punkts jebkurā 1 km kvadrātā. Tas ir nozīmīgi vairāku iemeslu dēļ – maza mēroga telpiskās

autokorelācijas samazināšanai, potenciāli pārmērīgi paraugotu vietu ietekmes samazināšanai un potenciālo statistikas artefaktu, kas saistīti ar hierarhisku grupēšanos telpā vai ap indivīdiem, klātbūtnes varbūtības samazināšanai. Vistu vanagam pieņemts lēmums izmantot 180 novērojumus, kas reģistrēti ar “ticamas” vai “pierādītas” ligzdošanas pazīmēm (3. att.).



3. attēls. Vistu vanaga dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa sagatavošanai izmantojamo novērojumu atlasē gaita un beigu izvēles telpiskais izvietojums. A – novērojumu saglabāšanās atlasē soļu gaitā; B – visu sākotnēji pieejamo novērojumu telpiskais izvietojums; C – ar vismaz iespējamu ligzdošanu saistāmo novērojumu, kas sasnieguši septīto atlasē soli (100 m šūnas ar krustu, 1 km šūnas ar punktu); D – ar vismaz ticamu ligzdošanu saistāmo novērojumu, kas sasnieguši septīto atlasē soli (100 m šūnas ar krustu, 1 km šūnas ar punktu); E – ar pierādītu ligzdošanu saistāmo novērojumu, kas sasnieguši septīto atlasē soli (100 m šūnas ar krustu, 1 km šūnas ar punktu); F – modeļa apmācībai izvēlētas vietas (krusti apzīmē vidi-kopumā raksturojošās vietas, punkti – sugas novērojumu vietas); G – modeļa neatkarīgās testēšanas vietas (krusti apzīmē vidi-kopumā raksturojošās vietas, punkti – sugas novērojumu vietas).

Balstoties pieņemtajos lēmumos par modelēšanai izmantojamajiem datiem, sagatavoti sekojoši faili (pieejami šī dokumenta elektroniskajā pielikumā):

1. **klātbūtnes dati modeļa neatkarīgai testēšanai** – 2024. gada novērojumi, kas retināti līdz vienam novērojumam vienā kvadrātkilometrā (3. att. G daļa ar punktiem);
2. **klātbūtnes dati modeļa apmācīšanai** – novērojumu atlasē astotā soļa rezultāts (3. att. F daļa ar punktiem);
3. **vidi-kopumā raksturojoši modeļa neatkarīgās testēšanas dati** – sākumā izlozēti 27500 nejaušās izlozes punkti ekogeogrāfisko mainīgo aptvertajā telpā, no tiem nejauši izlozēti 7500, kas izmantoti šī punkta vajadzībām (3. att. G daļa ar krustiem);
4. **vidi-kopumā raksturojoši modeļa apmācības dati** – atlikušie 20000 nejaušās izlozes punkti no iepriekšējā punkta (3. att. F daļa ar krustiem).

Tā kā fona punktu izloze ir nozīmīga sugu izplatības modelēšanas sastāvdaļa, ir pieejams vērā ņemams apjoms literatūras par dažādu procedūru ieviešanu vides aprakstu nodrošināšanai. Plaši izplatīts vispārīgs pieņēmums, ir vismaz 10 000 punktu, tomēr - jo sarežģītāka vide, jo vairāk pazīmju, kas to raksturo, jo sarežģītāka ir sugas ekoloģiskā niša, jo vairāk punktu būtu nepieciešams. Tomēr, ir jāreķinās, ka pieaugot fona punktu apjomam, ievērojami pieaug skaitļošanai nepieciešamie resursi, bet pie kāda (katrai situācijai specifiska) apjoma, pienesums analīzes uzlabošanā vairs neseko. Vērā ņemams literatūras apjoms rekomendē vai ar līdzīgu pamatojumu izmanto 10 000 fona punktus.

No šī “10 000 punktu īkšķa likuma” paredzēts veidot atsevišķas apmācību un testa kopas, tipiski 75% un 25%, tātad, ievērojami mazākas par šajā projektā izmantotajām. Ņemot vērā šajā analizē mērķtiecīgi veidoto sarežģīto vidi, nolēmu veidot pieeju ar 20 000 fona punktiem modeļa apmācībai un citu 7500 fona punktu kopu modeļa neatkarīgās testēšanas grupā. Šo izlozi veicu vienreiz, bet nefiksēju nejaušo skaitļu ģeneratoru, lai uzlabotu nejaušību un analīžu neatkarību. Esošais punktu skaits ievērojami pārsniedz “īkšķa likumus” attiecībā uz *presence-background* pieejās plaši izplatīto un arī attiecībā uz izplatītākajiem pieņēmumiem par rezultāta stabilitātes nodrošināšanai nepieciešamajiem minimālajiem izlases apjomiem. Šāda iteratoru nefiksēšana pieļauj vairāk nejaušības, uzlabojot statistisko kompleksu un tā vispārināmību, tomēr var apgrūtināt precīzi identisku rezultātu reproducēšanu.

2.5.2. Ekoģeogrāfisko mainīgo izvēle

Jebkurā prognostiskā statistiskajā modelī, kuram ir nepieciešama gan ekstrapolācijas, gan skaidrošanas spēja, regresoriem ir jābūt savstarpēji neatkarīgiem (McElreath, 2018; Zuur, 2009). Turklāt, statistiskā kompleksa piesātināšanas ar pazīmēm, kuras nepiedalās sugas izplatības prognozēšanā, apgrūtina modeļa izveidi - jo vairāk EGV, jo skaitļošanā izaicinošāks un resursu ietilpīgāks ir jebkurš izstrādājama modelis. Tajā pašā laikā, nepietiekošs vides aprakstu loks, nespēs aptvert dzīvotņu piemērotības heterogenitāti sugai. Šajā projektā vistu vanaga dzīvotņu piemērotības modeļa izveidi sāku ar lielu skaitu EGV mainīgo, kurus vairāku soļu procedūrā reducēju līdz pēdējā modeļa parametrizācijā iekļautajiem. Diemžēl, pirms EGV pārbaudes ieviešanas, nav iespējams noskaidrot to lomu modeļa izveidē. Pirmēji izvēlēto EGV saraksts ir reproducēšanas repozitorijā (https://github.com/aavotins/ACCGEN_LVM/blob/main/Rastri_100m/EGV_ACCGEN.xlsx).

Lai gan nereti statistiskajos modeļos par neatkarīgām tiek pieņemtas pazīmes, kuru dispresijas efektīvi neprognozē jebkāda kopa ar citām pazīmēm, to raksturojot ar $VIF \leq 4$ (Zuur, 2009), vides ekoģeogrāfiskajiem mainīgajiem, to telpiskā novietojuma īpašību dēļ, tik zemas vērtības ievērojami ierobežo pieejamo pazīmju loku (Wikle et al., 2019). Maksimuma entropijas analīze tiek uzskatīta par relatīvi robustu pret EGV savstarpējām korelācijām (Phillips et al., 2006, 2004), tomēr, lai novērstu spēcīgi ietekmētus modeļa parametru vērtējumus (Montgomery et al., 2012), izvēlējos tikai tos sākotnēji iekļātos EGV, kuru $VIF \leq 10$. Šo izvēli veicu R pakotnē {usdm} (Naimi, 2017; Naimi et al., 2014), tai izmantotās komandu rindas ir sniegtas projekta github repozitorijā. Darba ietvaros aprēķināju katra EGV prognozējamību un izmantoju soli-pa-solim izslēgšanu, sākot ar EGV ar lielāko VIF vērtību, kas turpināta līdz visiem atlikušajiem EGV $VIF \leq 10$, nejauši izlozētos 20000 punktos. Pēc noklusējuma programma izmanto 5000 punktus, kas palielināts, lai uzlabotu vides aptveri un iegūtā rezultāta stabilitāti neatkarīgos atkārotjumos. Tam, protams, ir cena - skaitļošanai nepieciešamie resursi un laiks ir lielāks.

Šī ir uzskatāma par semi-automatizētu pieeju, kurā sākotnējā (sevišķi plašā) EGV izvēle ir veikta, specifiski domājot par ik sugas ekoloģiju un tās izplatību potenciāli atšķirīgi ietekmējošiem dažādiem biotopiem (vides heterogenitāti), tomēr specifiski modelēšanā iekļaujamo pazīmju loks ir izvēlēts automatizēti. Tas nozīmē, ka izvēlēto pazīmju loks var nebūt optimāls specifiski sugas ekoloģiskās nišas aprakstīšanai, tomēr nodrošina statistiskās nepieciešamības un atkarībā modeļa spējas aprakstiem var būt piemērots kā izplatības modeļa ievade (Guisan et al., 2017). Turklāt tas pasargā no *cherry-picking* modelēšanā un tādas datu analīzes veidošanas, kas sakrīt ar pētnieka ekspektāciju, nenodrošinot noturību pret argumentētu kritiku.

Pirms sugas izplatības modeļa parametrizācijas, veidoju indikatīvo modeli, no kura izslēdzu maznozīmīgās pazīmes. Šis modelis veidots ar visiem savstarpēji pietiekoši neatkarīgajiem EGV un visiem modeļa apamācībā izmantojamajiem punktiem (klātbūtnes un fona) maksimuma entropijas analīzes “noklusējuma” modelī - lineāro (*linear*; R funkcijās “l” vai “L”), kvadrātisko (*quadratic*; R funkcijās “q” vai “Q”), zemākā sliekšņa līmeņa kritērija (*hinge*; R funkcijās “h” vai “H”) un to produkta (*product*; R funkcijās “p” vai “P”) algoritmu kombinācijai ar regularizācijas multiplikatoru “1” (Phillips et al., 2006, 2004). Šis ir samērā komplekss modelis, kurš tiecās izmantot plašu pazīmju klāstu, veidojot korelatīvas saistības, kuras ļauj identificēt ietekmīgākos EGV pārējo izslēgšanai jeb modeļa reducēšanai (Björklund et al., 2020b; Phillips et al., 2006).

No izmantotajām pazīmju-algoritmu kombinācijām zemākā sliekšņa līmeņa kritērijs, lai gan ekoloģiski pamatots dažādās situācijās, {maxnet} pakotnē ir lietojams tikai EGV informācijas telpā, kurā ik pazīmei ir pietiekoša variabilitāte, kas ne vienmēr izpildās. Tādēļ šajā solī iestrādāta automātiska izvēle nedaudz vienkāršākam modelim - LQP -, ja neizpildās variabilitātes nosacījumi. Sākotnējais modelis veidots un EGV indikatīvā nozīme vērtēta, procesa vadībai izmantojot R pakotni {SDMtune}. Modelis veidots, kopējās informācijas telpas aprakstam (fona jeb background vietām) pievienojot tās klātbūtnes vietas, kuras raksturo tajos jau neesošas EGV vērtību kombinācijas, lai veidotu statistisko kompleksu, kas matemātiski cieši saistās ar Puasona punktu procesu (Guisan et al., 2017; Phillips et al., 2017).

2.5.3. Sugas izplatības modelis (parametrizācija un rezultāti)

Sugas izplatības modeļi veidoti maksimuma entropijas analīzes ietvarā (Phillips et al., 2006, 2004), izmantojot {maxnet} pakotni, kas vadīta ar {SDMtune} pakotni. Modeļu apmācībai izmantotas tam atlasītās sugu klātbūtnes vietas un 20 000 nejauši izvēlētu fona punktu, savukārt to neatkarīgai testēšanai - atsevišķi modelī ne reizi neiekļauti neatkarīgās testēšanas dati.

Sugu izplatības modelēšanā ar klātbūtnes-fona vietām, nozīmīgs izaicinājums ir klātbūtnes vietu reprezentativitāte. Optimālā situācijā, būtu jābūt pieejamai informācijai par sugas meklēšanas piepūli (Backstrom et al., 2024; Fourcade et al., 2014; Johnston et al., 2020), kurai būtu jābūt iegūtai un aprakstītai tā, lai varētu izmantot nepilnīgas konstatēšanas modeļus (Kéry and Royle, 2016) vai integrētās pieejas (Dorazio, 2014; Fletcher et al., 2019; Ogawa et al., 2024). Tomēr pilnvērtīgā formā - iegūta statistiski robustas paraugošanas ietvarā un detalizēti aprakstīta - tā nav pieejama gandrīz nevienai sugai, jo konvencionālo monitoringu programmas, kurās tāda tiek iegūta, šobrīd nespēj radīt tādu informācijas bagātību, lai detalizēti analizētu visu sugu loku, turklāt nav sagaidāms, ka ar šīm metodēm būtu iespējams izstrādāt vienotu analīzes plūsmu, nodrošinot ērtu replicējamību. Simulāciju eksperimentos un reālās vides datu pētījumos ir noskaidrots, ka, ja nav iespējams nodrošināt uzticamu piepūles telpisko raksturojumu (*biasfile*) (Johnston et al., 2020; Phillips et al., 2009), pieeja ar augstāko stabilitāti pārparaugošanas (*oversampling*) ietekmju samazināšanā modeļa rezultātu projekcijā un pazīmju atbildes funkcijās ir sistemātiska retināšana (Fourcade et al., 2014).

Sistemātiska retināšana par faktoru 10 (modelēšana norisinās rastra šūnā ar malas garumu 100 m, bet modeļa apmācībai izmantots tikai viens novērojums tīklā ar malas garumu 1 km) ir iestrādāta novērojumu atlasē beigās. Šāda retināšana ir nozīmīga ne tikai pārparaugošanas ietekmes mazināšanai, tai ir arī nozīmīga loma mēroga telpiskās autokorelācijas ietekmju mazināšanā (Moudrý et al., 2024). Savukārt plaša mēroga autokorelācijas ietekmju samazināšanai un apmācītā modeļa stabilitātes novērtēšanai, izmantojama iekšējā krosvalidācija (cross-validation, CV).

Dažādos pētījumos ir noskaidrots, ka sugu izplatības modeļi var gan uzrādīt ciešu saistību ar pazīmēm, kas tikai nejauši vai ļoti netieši ir saistītas ar sugu izplatību (Dormann et al., 2012), gan nejauši ģenerētām vērtībām (Bahn and McGill, 2007; Beale et al., 2008; Chapman, 2010), gan pat renesances gleznojumiem (Fourcade et al., 2018). Tas nozīmē, ka modeļu izveides un izvērtēšanas procedūrām ir liela nozīme, lai samazinātu šādu nejaušību ietekmi. Cik tas attiecas uz plaša mēroga autokorelācijām, kas sevišķi izteiktas saistībā ar klimatu un raksturīgas renesances gleznojumos, telpisko bloku krosvalidācija ir atzīta par labāk performējošo, jo sevišķi, ja apvienota ar neatkarīgas testēšanas datiem (Fourcade et al., 2018; Roberts et al., 2017; Veloz, 2009; Wenger and Olden, 2012). Šī procedūra - telpisko bloku krosvalidācija un modeļa izvērtēšana neatkarīgos testa datus - ir ieviesta šajā materiālā.

Ir neapšaubāmi skaidrs, ka neviens viens mērs nav spējīgs pilnvērtīgi raksturot sugu izplatības modeli. Tāpat arī ir skaidrs, ka nevienas programmas vai modelēšanas pieejas noklusējuma uzstādījumu, lai cik kalibrēti, nav piemēroti visām situācijām. Attiecībā uz maksimuma entropijas analīzi, kas ir kļuvusi par vienu no populārākajām sugu izplatības modelēšanas pieejām, plaši izmantota nekorekta prakse ir izmantot noklusējuma algoritmus ar noklusējuma regularizāciju un modeļa spēju raksturot ar AUC (*Area Under receiver operating Curve*) (Radosavljevic and Anderson, 2014; Warren and Seifert, 2011). Šī prakse ir nekorekta, jo reti, kad atgriež konkrētās sugas izplatību vai tās ekoloģisko nišu konkrētā pētījuma teritorijā labāk raksturojošo un labāk vispārinošo modeli (Warren and Seifert, 2011), turklāt AUC kā metrika ir daudz pamatoti kritizēta, tostarp tās tieksmes augstāk vērtēt pārpriekšējos modeļus dēļ (Lobo et al., 2008; Warren and Seifert, 2011). Tomēr nevar noliegt tās (AUC) piemērotību, piemēram, telpiski krosvalidētu modeļu daļu stabilitātes novērtēšanā (Radosavljevic and Anderson, 2014). Kā alternatīva ir ieteikts izlases apjomam koriģētais Akaike informācijas kritērijs (Warren and Seifert, 2011), kura aprēķināšanai izstrādāta gan patstāvīga (Warren et al., 2010), gan R vadāma programmatūra (Warren et al., 2021). Tomēr arī šī metrika ir saņēmusi kritiku, gan tās aprēķināšanai nepieciešamo skaitļošanas resursu un datu apjoma dēļ, gan informācijas kritēriju parsimoniskās dabas, gan ģeogrāfiski vispārinātās projekcijas akurātuma dēļ, starp citiem apsvērumiem (Velasco and González-Salazar, 2019). Par šobrīd izplatītāko labākā modeļa izvēles pieeju ir kļuvusi TSS (patiesās spējas statistika, *True Skill Statistic*), kas ir orientēta klasifikācijas spējas novērtējumā un tam izmanto informāciju gan par sensitivitāti, gan specifiskumu (Allouche et al., 2006). Šī metrika ir plaši izmantota labākās modeļa parametrizācijas izvēlei dažādos statistiskajos kompleksos un, ja labākais modelis ir vērtēts pēc tā TSS neatkarīgos testa datus, ir uzskatāms, ka tā raksturo pietuvinātu rezultātu dabā sagaidāmajam caur pārceļamību (*transferability*) (Soley-Guardia et al., 2019; Wenger and Olden, 2012). Tomēr arī tā nav visaptveroša pati par sevi un ir nepieciešami papildus raksturojumi un izvērtējumi. Piemēram, nulles modeļi, kas tālāk aprakstīti.

Šajā materiālā izmantoju četru telpisko bloku krosvalidāciju, kuras ietvaros izvērtēju TSS, gan modeļa apmācības, gan validācijas kopā un pēc visu modeļa variantu sagatavošanas, arī neatkarīgos testa datus. Neatkarīgos testa datus aprēķināju arī AUC vērtību modeļu papildus raksturošanai. Modeļu veidošanā izmantoju režģa pieeju labākās parametrizācijas noskaidrošanai:

1. izmēģināju regularizācijas multiplikatora vērtības 0.2, 1/3, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 2, 3, 5, 7.5 un 10;
2. sekojošus algoritmus:
 - a. sāku ar algoritmu “l”, “lq”, “lp”, “lqp”, “qp”, “lh”, “qh”, “lqh”, “lhp”, “qhp” un “lqhp” kopu, tomēr tā ne vienmēr ir iespējama EGV vērtību variabilitātes dēļ, tādēļ pēc kļūdas paziņojuma automātiski ieviesu citu algoritmu kopu;
 - b. pēc kļūdas paziņojuma 2.a algoritmiem, izmēģināta “l”, “lq”, “lp”, “lqp”, “qp” un “q” kopa.

Vistu vanagam ieviesta 2.b algoritmu kopa, tās ir 66 parametrizācijas, kas ieviestas četros telpiskajos blokos, veidojot 264 modeļus. Katrai no 66 parametrizācijām izveidots krosvalidāciju kombinētais modelis, kurš atkārtoti pielāgots un izvērtēts neatkarīgās testēšanas kopā, kas nozīmē vēl 66 modeļu gatavošanu.

Visi modeļi sagatavoti, limitējot atbildes funkcijas telpai, kas raksturota ar vērtībām modeļa apmācībā izmantotajos klātbūtnes un fona punktos. Ārpus šo vērtību apgabala projicētā dzīvotņu piemērotība limitēta ekspektācijai pie EGV kombināciju vērtību robežām (Elith et al., 2011; Phillips et al., 2017, 2009, 2006, 2004).

Tā kā vēl joprojām zinātnē nav īstas skaidrības par sugu izplatības modeļu (un kopumā dažādu vispārināto modeļu) kvalitātes un uzticamības raksturojumu patiesumu, jo sevišķi klātbūtnes-fona modeļos, ir introducēta nulles modeļu pieeja. Šīs pieejas pamatā ir dažādu raksturojumu aprēķināšana empīriskajos datos un to pašu metriku aprēķināšana nejauši ģenerētās vērtībās tajā pašā (EGV) informācijas telpā. Sākotnējās implementācijas sugu izplatības modeļos spēja empīriskās vērtības salīdzināt ar nejauši ģenerētu vietu prognozēšanas spēju tikai, izmantojot nejaušo krosvalidāciju (Raes and Ter Steege, 2007). Kopš tā laika ir izstrādātas pieejas neatkarīgas testēšanas datu kopas izmantošanai (Bohl et al., 2019) un telpisko bloku krosvalidācijai (Kass et al., 2020). Šīs pieejas ir ieviestas R pakotnē {ENMeval} (Muscarella et al., 2014) un izmantotas šajā materiālā.

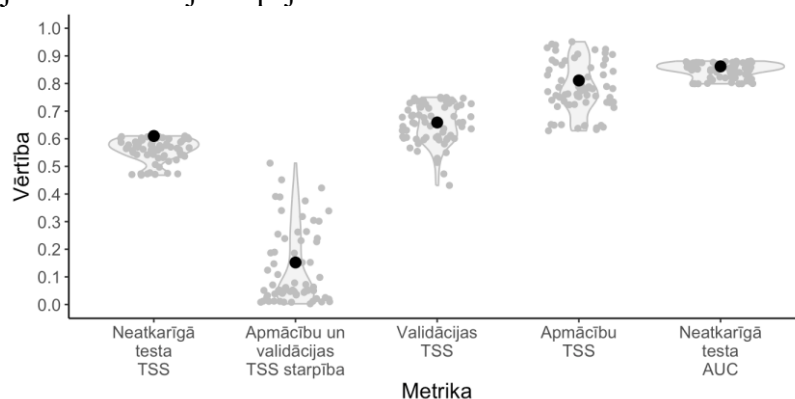
Kā jau iepriekš rakstīts, sugu izplatības modeļi var nosacīti labi aprakstīties gan ar nejaušām saistībām, gan pat ar renesances gleznojumiem, tādēļ saprotams, ka arī nejauši ģenerētas vietas var relatīvi labi aprakstīties. Daudzas modeļa izvērtējumos izmantotās metrikas ir klasifikācijas sliekšņa līmeņa atkarīgas, tādēļ vērtējot izstrādāto modeļu spēju salīdzinājumā ar nulles modeļiem, vēlamies redzēt, ka tiem ir labākas vērtības, tomēr par pieņemamiem modeļiem var tikt uzskatīti arī tie empīriskie modeļi, kuriem tās nav sliktākas par nulles modeļiem (Muscarella et al., 2014).

Modeļa parametrizāciju savstarpējais salīdzinājums ir sniegts ceturtajā attēlā. Par labāko atzīts modelis ar augstāko neatkarīgās testēšanas TSS (principā, izvēlei iestrādāti papildu secīgi kritēriji, ja ir vairākas konkurējošas parametrizācijas: mazāko starpību starp parametrizācijas apmācībā un iekšējā validācijā izmantoto datu TSS, augstāko iekšējās validācijas TSS un vienkāršāko pazīmju algoritmu kombināciju). Šis modelis ir veidots ar kvadrātiskām savstarpējo mijiedarbību kombinācijām un regularizācijas multiplikatoru “3”, kas nozīmē nelineāru EGV ietekmi uz dzīvotņu piemērotību, turklāt jebkura EGV ietekme mainās līdz ar pārmaiņām citu EGV vērtībās, tomēr regularizācijas augstā multiplikatora vērtība nodrošina samazinātu pielipšanu individuālām sugas klātbūtnes vietām (parametrizāciju izvēles tabula ir elektroniskā pielikuma failā “./GridSearch_Table/GSTabula_ACCGEN.xlsx”). Šīs parametrizācijas TSS neatkarīgos testa datos ir ~ 61% - tā kā TSS variē no -1 līdz 1, tās vērtības ir klasificējamās asociējot ar korelācijas koeficientiem, nereti izmantots sekojošs dalījums:

1. $TSS < 0.2$ raksturīgs vājiem (*poor*) modeļiem;
2. $0.2 \leq TSS < 0.4$ – viduvējiem (*fair*) modeļiem;
3. $0.4 \leq TSS < 0.6$ – mēreni labiem (*moderately good*) modeļiem bieži tiek izmantots kā minimālais sliekšnis tam, lai modeli uzskatītu par pielietošanas vērtu;
4. $0.6 \leq TSS < 0.8$ – labiem (*good*) modeļiem;
5. $TSS \geq 0.8$ – izcili prognozējošiem (*excellent*) modeļiem,

kas liecina ka sagatavotā parametrizācija ir ar labu spēju atšķirt sugai piemērotās no nepiemērotajām vietām iepriekš neredzētos datos jeb vispārinoties jaunām situācijām un vietām (un izcilu spēju zināmajās vietās). Kā jau sagaidāms, iekšējās validācijas un apmācības kopās šīs vērtības ir vēl augstākas, to nelielā starpība (~ 15%) liecina, ka telpisko bloku krosvalidācijā ir iegūts visai noteikts modelis. Arī aprēķinātā AUC vērtība neatkarīgos testa

datos (~ 86%) liecina par ļoti labu modeļa projicētās dzīvotņu piemērotības klasifikācijas vispārināšanas jaunām situācijām spēju.



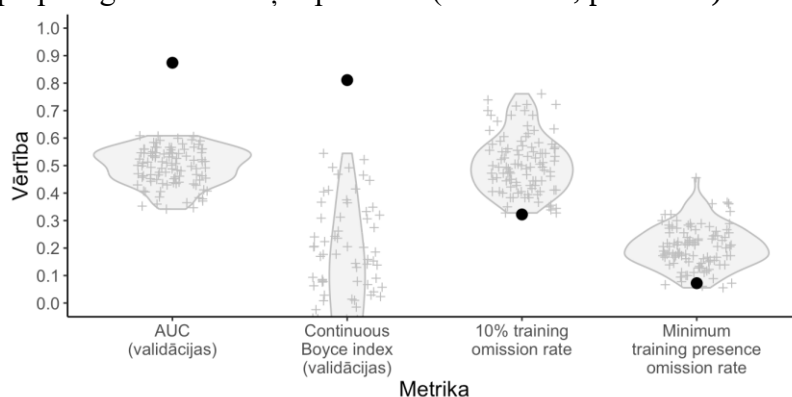
4. attēls. Vistu vanaga dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa parametrizāciju salīdzinājums. Melnais punkts ir par labāko atzītā parametrizācija, pelēkie punkti raksturo pārējās izmēģinātās, fonā esošās blīvuma diagrammas raksturo katra mēra sadalījuma varbūtības blīvuma telpu.

Piektajā attēlā ir sniegts par labāko atzītās modeļa parametrizācijas (empīriskais modelis; ar melno punktu) izvērtējums nulles modeļos – tieši to pašu EGV informācijas telpā 100 nejauši ģenerētu (virtuālo) sugu dzīvotņu piemērotības klasifikācijai (pelēkie krusti). Attēla skaidrojums:

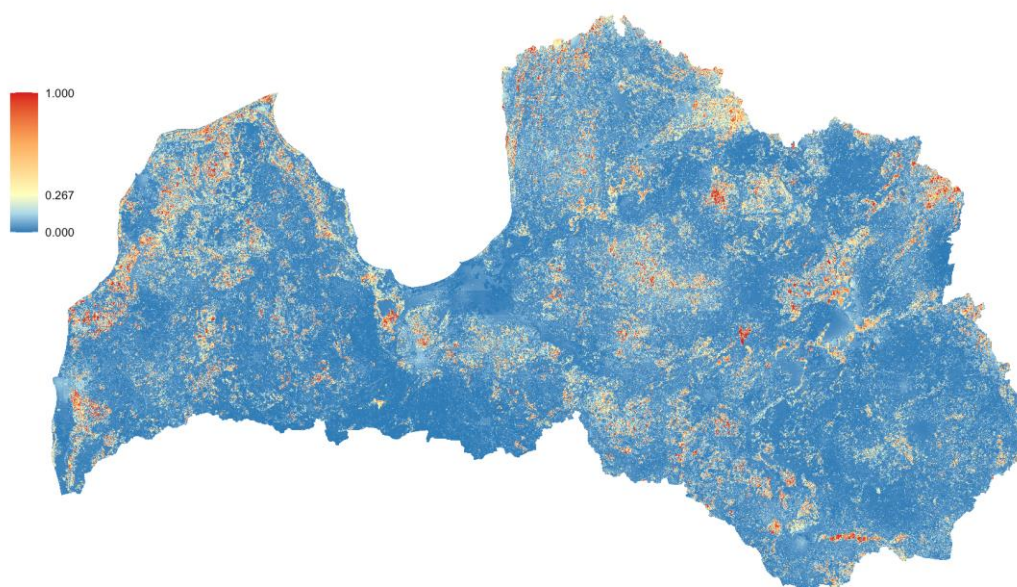
1. “AUC (validācijas)”, kas ir populārs modeļa klasifikācijas aptveres rādītājs, empīriskajam modelim ir līdzvērtīga 4. attēlā redzamajai, kas kārtējo reizi nozīmē projekcijas stabilitāti neatkarīgi no modeļa implementācijas. Par to svarīgāks ir salīdzinājums ar pelēko daļu, kura izvietojas ap 50% jeb nejaušu klasifikāciju. Empīriskā modeļa AUC ir $\sim 87 \pm 7 \%$ (aritmētiskais $\pm$ standartnovirze), savukārt nulles modeļos tā ir $\sim 50 \pm 5 \%$, šī atšķirība ir statistiski nozīmīga ($z=8.4159$, $p<0.0001$);
2. “Continuous Boyse index (validācijas)” jeb nepārtraukti variējošais Boisa indekss raksturo stratificēta dzīvotņu piemērotības gradienta korelāciju ar sugas klātbūtnes vietām šajās klasēs. Kā korelācijas koeficients tas variē no -1 līdz 1, kur 0 nozīmē, ka korelācija neveidojas. Empīriskajā modelī šī vērtība ir $\sim 81 \pm 8 \%$, nulles modeļos tā ir $\sim 1 \pm 5 \%$, kas nozīmē, ka empīriskā modeļa sniegtā dzīvotņu piemērotība (cloglog; 6. att.) veido statistiski nozīmīgi ($z=4.5125$, $p<0.0001$) ar sugas sastapšanas vietām saistītu gradientu. Tātad, šūnas, kurās ir augstāka dzīvotņu piemērotības projicētā vērtība ir ar augstāku sagaidāmo varbūtību sugas klātbūtnēi. Šī īpašība ir nozīmīga domājot par vietu savstarpējās nozīmes salīdzināšanu un sugas populācijas lieluma aprēķiniem, jo ligzdošanas iecirknis (1. tabula) ir lielāks par vienu analīzes šūnu;
3. “10% omission rate” raksturo modeļa klasifikācijas atkarību no individuāliem novērojumiem – šajā salīdzinājumā ir pieņemts, ka piemērotas dzīvotnes ir sākot ar projicēto (prognozes vērtība ir sniegta ik iekšējā validācijā katram izmantotajam novērojumam) dzīvotņu piemērotību 0.5, vērtības uz y-ass norāda, kāds īpatsvars modeļa validācijas vietu tiek klasificēts kā nepiemērotas dzīvotnēs ietilpstošs, ja modeļa apmācībai neizmanto 10% novērojumu ar zemāko projicēto dzīvotņu piemērotību. Kopumā - jo zemākas ir vērtības, jo labāk. Empīriskajam modelim vērtība ir $\sim 32 \pm 17 \%$, kas variabilitātes intervālā ir visai augsta, tomēr tās vērtēšana ir saistāma ar otro tabulu – konkrētajam modelim rekomendētais klasifikācijas sliekšņa līmenis ir daudz zemāks (jebkurš

no tiem) par 50%, ko iestrādājot vērtējumā ir skaidrs, ka empīriskā vērtība ir laba. Salīdzinājumā ar nulles modeli ($\sim 51 \pm 7\%$), empīriskais ir statistiski nozīmīgi labāks ($z=-2.7545$, $p=0.0029$).

4. “Minimum training presence omission rate” pēc savas būtības ir līdzīgs iepriekšējam mēram, tomēr šis norāda par validācijas kopā esošo novērojumu īpatsvaru ar zemāku dzīvotņu piemērotību nekā modeļa apmācības kopā. Empīriskajam modelim tie ir $\sim 7 \pm 8\%$, savukārt nulles modeļos tas ir $\sim 20 \pm 6\%$, kas norāda uz statistiski nozīmīgi labāku spēju un skaidri noraida pārpīlāgošanu modeļa apmācībā ($z=-2.2197$, $p=0.0132$).



5. attēls. Par labāko atzītās vistu vanaga dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa parametrizācijas nozīmīguma izvērtējums pret nulles modeļiem. Melnais punkts ir par labāko atzītā parametrizācija, pelēkie krusti raksturo nejaušības ekspektāciju tieši šīs parametrizācijas EGV informācijas telpā 100 izmēģinājumos, fonā esošās blīvuma diagrammas raksturo katra mēra nejaušā sadalījuma varbūtības blīvuma telpu.



6. attēls. Par labāko atzītās vistu vanaga dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa parametrizācijas projicētās dzīvotņu piemērotības karte. Krāsu skala raksturo relatīvo dzīvotņu piemērotību, kurā par vidējo vērtību ir izvēlēts vienādas sensitivitātes un specifiskuma līmenis modeļa apmācībai izmantotajos datos (biežāko lietotie klasifikācijas sliekšņa līmeņi ir otrajā tabulā). Kā ģeoreferencēts rastra slānis tā ir pieejama elektroniskajā pielikumā (“./BestHSmap/BestHSmap_ACCGEN.tif”).

Nemot vērā sugas izplatības modeļa kvalitātes raksturojumu ceturtajā un piektajā attēlos, projicēto dzīvotņu piemērotību vislabāk ir izmantot kā nepārtraukti variējošu gradientu. Tomēr arī šim gradientam var būt nepieciešami piesaistes punkti, kurus reizēm ir nepieciešams izmantot klasifikācijā kādām telpiskās plānošanas vai statistisko analīžu vajadzībām. Otrajā tabulā ir sniegti biežāk izmantotie sliekšņa līmeņi modeļa projicētās dzīvotņu piemērotības binārai klasifikācijai – piemērotajās un nepiemērotajās. To darot gan ir jāņem vērā, ka vistu vanaga ligzdošanas iecirknis ir plašāks par analīzes šūnu, kas nozīmē, ka atsevišķas zemas piemērotības šūnas augstākas nozīmes šūnu ietvarā var vienalga būt sugai nozīmīgas.

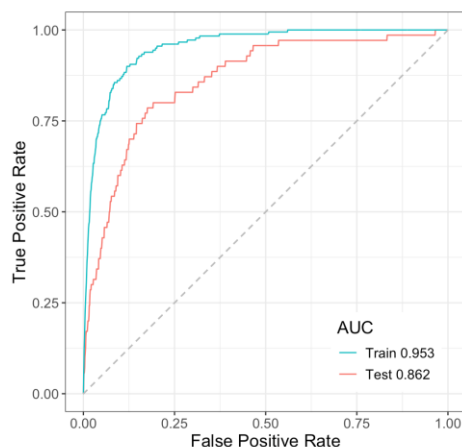
2. tabula. Biežāk lietoto sliekšņa līmeņu projicētās dzīvotņu piemērotības raksturojums veicot klasifikāciju sugai piemērotajās un nepiemērotajās.

Sliekšņa līmenis	Dzīvotņu piemērotības (cloglog) vērtība	Piemērotais valsts platības īpatsvars	Klātbūtnes vietu atmešanas īpatsvars apmācību datos	Klātbūtnes vietu atmešanas īpatsvars neatkarīgās testēšanas datos	P-vērtība
Zemākā vērtība apmācību klātbūtnes datos	0.02892	0.56007	0.00000	0.00026	< 0.0001
Vienāda sensitivitāte un specifiskums apmācību datos	0.26705	0.11666	0.11667	0.00330	< 0.0001
Maksimālā sensitivitātes un specifiskuma summa apmācību datos	0.26328	0.11840	0.10000	0.00330	< 0.0001
Vienāda sensitivitāte un specifiskums neatkarīgās testēšanas datos	0.12299	0.21167	0.04444	0.00184	< 0.0001
Maksimālā sensitivitātes un specifiskuma summa neatkarīgās testēšanas datos	0.15074	0.18381	0.06111	0.00198	< 0.0001

Šajā pārskatā par sliekšņa līmeni izmantoju “vienāda sensitivitāte un specifiskums apmācību datos”, jo šī kopa (apmācību dati) ir redzējusi vairāk datus un tādēļ labāk aptver sugas sastopamību, bet tai līdztekus ir piedāvāta klasifikācijas spēja neatkarīgas testēšanas datos. Izvēlētais dalījuma veids pēc vērtībām (sliekšņa līmeņa un prognozes spējas) ir līdzīgs “maksimālajai sensitivitātes un specifiskuma summai apmācību datos”, kurš pēdējo gadu publikācijās ir biežāk lietots, jo labāk saskan ar modeļa kopumā novērtēšanai izmantoto TSS. Vispārīgs trūkums otrajam veidam ir informācijas par konkrētām sensitivitātes un specifiskuma vērtībām trūkums – augsta TSS vērtība ir teorētiski iespējama arī tad, ja ir augsta tikai viens no

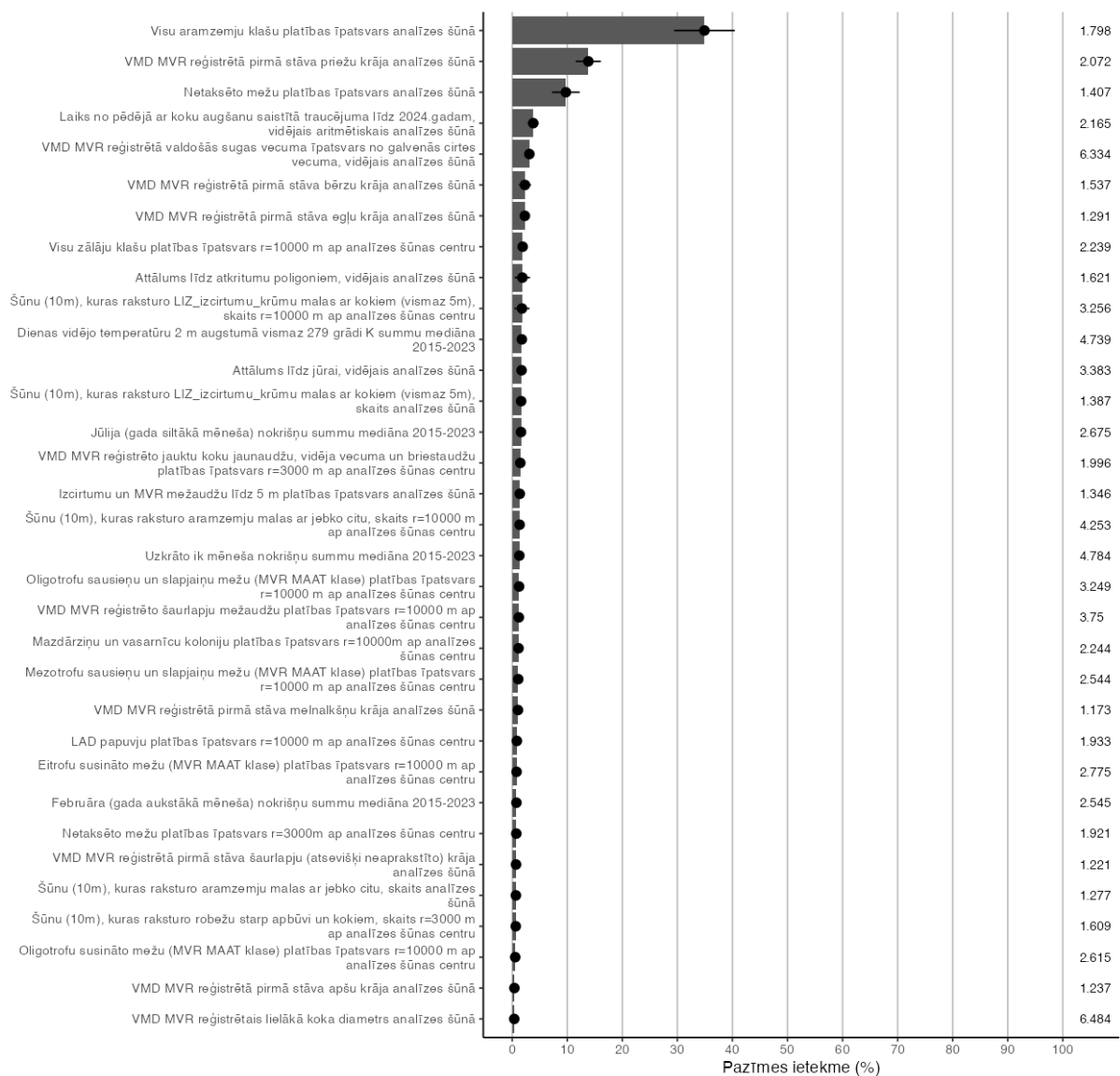
vērtētāja izmantotajiem mēriem. Šis modelis gan nav ar tādām problēmām, turklāt abi mēri ir līdzīgi. Ieguvums “vienāda sensitivitāte un specifiskums” lietošanai ir tāds, ka, zinot vienu, ir zināms arī otrs un sensitivitāte otrajā tabulā ir apzīmēta ar “klātbūtnes vietu atmešanas īpatsvars...”. Kā redzams visi dalījuma veidi pie ierosinātās projicētās dzīvotņu piemērotības vērtības sniedz statistiski nozīmīgi (ekzaktā binomiālā testa $p < 0.0001$ visos gadījumos) labāku sugas klātbūtnes klasifikāciju testa datos, nekā nejaušība.

Protams, nevar aizliegt izmantot arī kādus citus dalījuma veidus vai sliekšņa līmeņus. Tiem atbilstošās sensitivitātes aprēķināšanai nepieciešami dati ir pievienoti šī pārskata elektroniskajā pielikumā. Specifiskumu var aprēķināt, izmantojot septīto attēlu, kurā *True Positive Rate* ir patiesi par piemērotām atzīto vietu īpatsvars jeb sensitivitāte un *False Positive Rate* ir nepatiesi par piemērotām atzīto vietu īpatsvars jeb 1-specifiskums.



7. attēls. Par labāko atzītās vistu vanaga dzīvotņu piemērotības telpiskā modeļa parametrizācijas projicētās dzīvotņu piemērotības klasifikācijā sagaidāmais pieskaitīšanas kļūdu (True Positive Rate – patiesi par piemērotām atzīto vietu īpatsvars jeb sensitivitāte; False Positive Rate – nepatiesi par piemērotām atzīto vietu īpatsvars jeb 1-specifiskums) apjoms un savstarpējā saistība modeļa apmācības un neatkarīgās testēšanas datos. Zilā līnija apzīmē modeļa apmācības un sarkanā – neatkarīgās testēšanas kopas.

Labākai izpratnei par vides apstākļiem, kas ietekmējuši dzīvotņu piemērotības prognozi, sniegta modelī iekļauto EGV marginālās (pārējām pazīmēm esot to vidējā aritmētiskā stāvoklī) atbildes funkcijas dzīvotņu piemērotībai (cloglog). Jāatgādina, ka izveidotais modelis ir parametrizēts kvadrātiskajam un produktu algoritmam, kas nozīmē, ka vismaz daļa EGV savu ietekmi maina, mainoties vērtībām kādā citā EGV. Tiešā EGV nozīme dzīvotņu piemērotības klasifikācijā ir sniegta devītajā attēlā, kurā ir sniegts arī pazīmju savstarpējās prognozētspējas raksturojums (VIF vērtības).

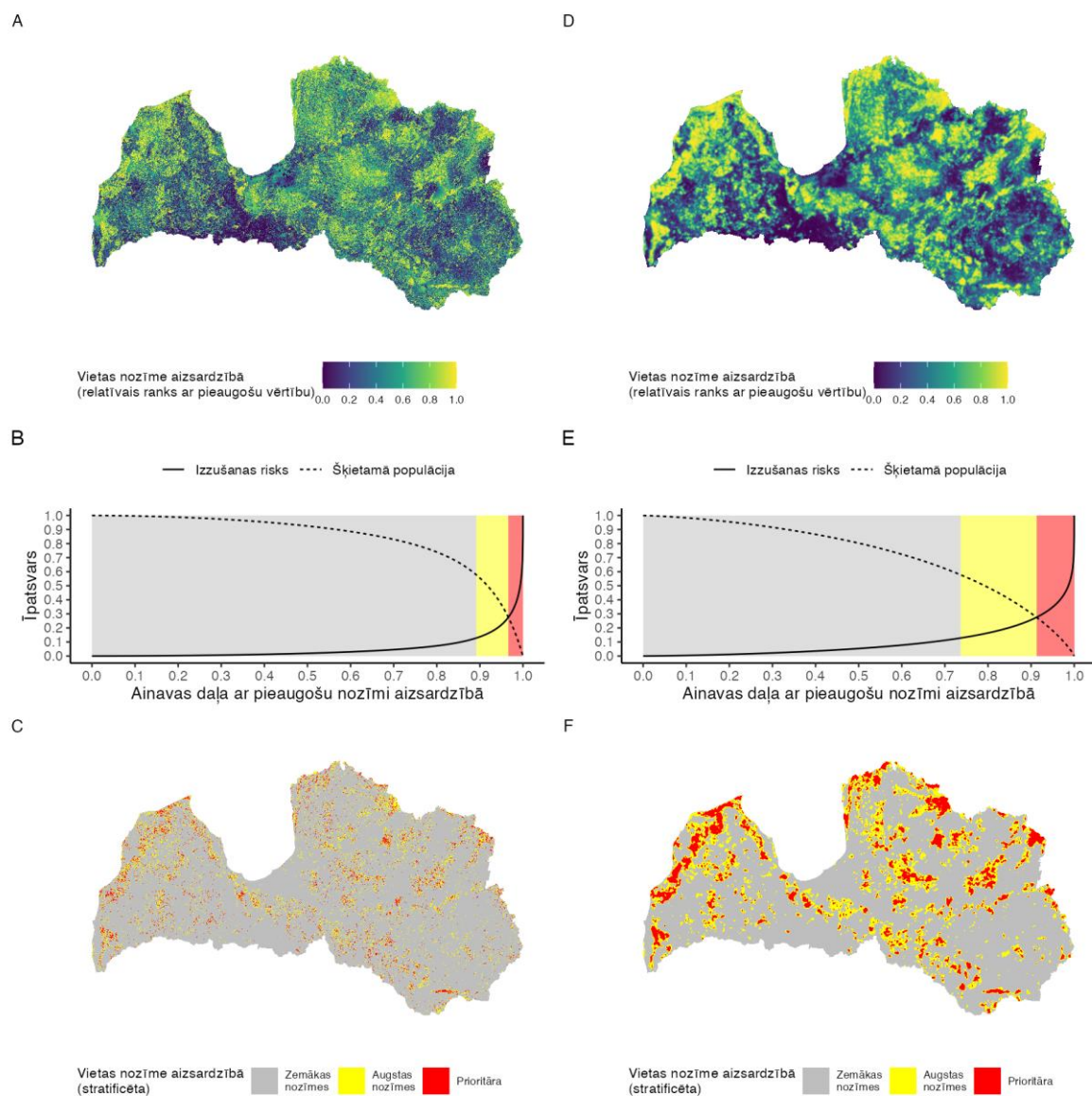


9. attēls. EGV nozīme labākajā sugas izplatības modeļa parametrizācijā (vidējais aritmētiskais un standartnovirze 99 permutācijās). Skaitļi attēla labajā malā ir VIF vērtības.

2.5.4. Sugas populācijas aizsardzībai prioritārās vietas

Viens no sugas izplatības modelēšanas mērķiem piedāvāt informāciju dabas kapitāla apsaimniekotājiem savu darbību un to ietekmes plānošanai. Viens no veidiem plānošanai ir pirms katras darbības veikt tās sagaidāmās ietekmes izvērtējumu atkārtotot par labāko atzītā sugas izplatības modeļa projekciju un tās vērtības pēc plānotās darbības ieviešanas datubāzē salīdzināšanu ar projekcijas vērtībām pirms šīs darbības. Tomēr sugām, kurām ir praktisks aizsardzības statuss, piemēram, tās ir aizsargājamas veidojot mikroliegumus kā vistu vanags, šādu darbību iekreizēja atkārtošana var būt lieka resursu tērēšana, ja ir jau zināmas vietas, kuras ir nozīmīgas sugas aizsardzībā. Viens variants kā uz to skatīties ir projicētās dzīvotņu piemērotības (6. att.) klasifikācija, izmantojot kādu no otrajā tabulā sniegtajām vērtībām. Šādas rīcības rezultātā ar vienādas sensitivitātes un specifiskuma apmācību datus pieeju ir iegūstami ~ 12% valsts teritorijas, kas ir uzskatāmi par sugai piemērotiem (tie neiekļauj ~ 12% no

patiesībā piemērotajām vietām un ~ 12% no par tādām klasificētajām patiesībā tādas nav). Tomēr šī pieeja ir fokusēta individuālām šūnām, ignorējot to savstarpējā novietojuma lomu populācijas aizsardzībā kopumā. To ir iespējams ņemt vērā, izmantojot telpiskās plānošanas rīkus, piemēram, Zonation (Moilanen et al., 2020, 2014, 2009; A. Moilanen and Kotiaho, 2018).



10. attēls. Vietu prioritizēšanas sugas aizsardzībai rezultāti, izmantojot saskaitāmo ieguvumu funkciju (additive benefit function) iteratīvā izslēgšanas procesā (100 šūnas ik solī), uzskaiti veicot tikai šūnu vērtībām (A, B, C daļās) un šūnu vērtības izlīdzinot ar Gausa funkciju, kuras mēroga parametrs ir sugas ligzdošanas iecirkņa rādiuss (D, E, F daļās). Augšējā rindā (A un D) - vietu nozīmes aizsardzībā ranki; vidējā rindā (B un E) - aizsargātās dzīvotņu piemērotības (populācijas daļas) un populācijas izzušanas telpiskā riska saistība ar aizsardzībai plānojamo telpas daļu (nozīmes aizsardzībā ranku), kurai ar fona tonējumu ierosināts vienkāršots klasifikācijas variants, kas telpiski demonstrēts apakšējā rindā; apakšējā rindā (C un F) - ierosinātās vietu nozīmes sugas aizsardzībā klasifikācija, kur prioritārās vietas ir no aizsargātās šķietamās populācijas un izzušanas riska līkņu krustpunkta (C un E daļās) pa labi, augstas nozīmes ir zemāka ranka par prioritārajām, tādā apjomā, lai aptvertu piemērotajās dzīvotnēs (sliekšņa līmenis – vienāda sensitivitāte un specifiskums apmācību datos) sagaidāmo šķietamās populācijas daļu.

Šajā projektā izmantota Zonation ceturrtā versija ar saskaitāmā ieguvuma funkciju (*additive benefit function*) augstas detalizācijas iteratīvā zemākās nozīmes šūnu izslēgšanas procesā no jebkuras vietas ainavā (nevis tikai no malām). Saskaitāmā ieguvuma funkcijas pamatā ir pieņēmums, ka vērtības ievades datu šūnās ir telpiski saskaitāmas – četras blakus esošas šūnas ar dzīvotņu piemērotību 25% ir tikpat nozīmīgas kā viena šūna ar vērtību 100%. Matemātiski par šīs īpašības izpildīšanos liecina augstā *Continuous Boyce index* (5. att.), ekoloģiski – fakts, ka sugas ligzdošanas iecirknis (no simtiem līdz pat vairākiem tūkstošiem ha) ir plašāks par analīzes šūnu (1 ha). Tātad, domājot par populācijas aizsardzību, ir iespējams izmantot dzīvotņu piemērotības gradientu kā netiešo mēru, raksturojot šķietamo populāciju (Avotins et al., 2022) – sugai piemērotajās vietās (klasifikācija, izmantojot vinādas sensitivitātes un specifiskuma sliekšni apmācību datus) ir ~ 57% visas valsts dzīvotņu piemērotības. Šīs rindkopas sākumā minētais “augstas detalizācijas iteratīvs zemākās nozīmes šūnu izslēgšanas process” nozīmē, ka visa analīzes telpa (apmēram 6.5 milj. šūnu ar vērtībām) tiek izmantota, lai saskaitītu visu šūnu vērtības un pienesumu kopējā šķietamās populācijas koncentrēšanā, lai ranžētu to nozīmi un izslēgtu vienlaikus 100 mazāk nozīmīgās un atkārtotu šo procedūru līdz visas šūnas ir izslēgtas nodrošinot to nozīmes sugas populācijas aizsardzībā ranžējumu (10. att. A un D daļas). Šis process veikts ik solī pārrēķinot visu atlikušo šūnu nozīmi, tādā veidā apgrūtinot analīzi, tajā pašā laikā, pieļaujot šūnu izslēgšanu no jebkuras vietas ainavā (ne tikai no malām), tādā veidā izslēdzot iespēju veidoties zemas piemērotības un nozīmes populācijas aizsardzībā “salām” augstas nozīmes šūnu ielienkumā (Moilanen et al., 2020, 2014, 2009).

Prioritizācija ir veikta ar divām pieejām, kuras kalpo nedaudz atšķirīgiem mērķiem:

1. analīzes šūnas līmeņa prioritizācija (10. att. A, B un C daļas), kas ir piemērota augstas izšķirtspējas plānošanai vietas līmeņa darbībām, piemēram, lēmumu par aizsardzības pazīmju ieviešanu pieņemšanai;
2. prioritizācijas ietvaros ir izmantota Gausa funkcija (mēroga parametrs raksturo mazāko vistu vanagam raksturīgo ligzdošanas iecirkņa rādiusu no 1. tabulas (981 m)) šūnas vērtību aprēķināšanai (10. att. D, E un F daļas) ne tikai, lai vairāk uzsvērtu vietas, kurās reģionāli ir augsta nozīme populācijas aizsardzībai, bet piedāvātu informāciju buferzonu plānošanai ap ligzdošanai nozīmīgajām vietām, piemēram, miera periodu un ar vietu līmeņa metapopulāciju un indivīdu demogrāfijas procesus ietekmējošām darbībām (piemēram, bet ne tikai – vēja parku būvniecību).

Līdzīgi kā ar dzīvotņu piemērotību, vietu prioritizācijas rezultātus vislabāk ir izmantot kā nepārtraukti variējošas vērtības (Moilanen et al., 2020, 2014; Atte Moilanen and Kotiaho, 2018). Tomēr komunikācijas un operacionalizēšanas ērtībai var būt nepieciešama klasifikācija, kuru piedāvāju 10. att. B un E daļās ar to telpisko raksturojumu C un F daļās. Sekojot iepriekšējai praksei (Avotins et al., 2022), par prioritārām ierosinu vietas, kurās ranku vērtības ir augstākas par aizsargātās šķietamās populācijas un izzušanas riska līkņu krustpunktu, savukārt par augstas nozīmēs – tās, kuras koncentrē šķietamo populāciju līdz tam līmenim, kāds ievades datus atrodas sugai piemērotajās vietās. Tas nenozīmē, ka pārējās vietas ir garantēti nepiemērotas vai ka tajās notiekošais itin nekādi neietekmē sugas aizsardzību (skat. klasifikācijas kļūdas otrajā tabulā), tomēr šīs ietekmes būtu samazinātas, ja kombinētu vietas un ligzdošanas iecirkņu pieejas.

Lai labāk apsaimniekotu sugu, vislabāk ir kombinēt visas trīs pieejas – dzīvotņu piemērotību (6. att.) ar abām prioritizācijām. Tā kā šīm ir tikai ieteikuma raksturs, tas varētu nozīmēt, piemēram, aizsardzības paredzēšanu visām sugas aizsardzībai prioritārajām teritorijām 10.C att., nodrošinot miera periodu visās 10.F att. prioritārajās un 10.C, 10.F att. augstas nozīmes vietās un sugai piemērotajās dzīvotnēs 6. att. klasifikācijā. Papildus tam, visām vietām, kurās dzīvotnes klasificējas par sugai piemērotām (6. att. un 2. tabula) vai

uzskatāmām par augstas piemērotības vai prioritārām 10.C un 10.F attēlos, jebkuras saimnieciskās darbības plānošana saistāma ar ietekmes uz sugu izvērtēšanu.

2.6. Modeļa koncepcijas, algoritmu un praktiskās pielietošanas apraksta sagatavošana

Modeļa koncepcija un tās izveidošanai izmantotie algoritmi ir aprakstīti nodaļā “2.5. Modeļu pilnveidošana, izmantojot kalibrēšanas rezultātus”, kurā ieskicēti arī praktiskās lietošanas piemēri. Darba gaitas praktiskai atkārtošanai un turpmākai izmantošanai ir sagatavots publiskais github repozitorijs (https://github.com/aavotins/ACCGEN_LVM), kurā arī ir apraksti un skaidrojumi. Izstrādāto un šī pārskata elektroniskajā pielikumā sniegto modeļa objektu izmantošana jaunā vidē ir veicama pēc vidi raksturojošo EGV sagatavošanas (tiem ir nepieciešami precīzi tie paši nosaukumi; centrēšanas un mērogošanas vērtības ir dotas publiskajā repozitorijā), izmantojot ērtāko no funkcijām ``?SDMtune::predict,Maxnet-method`` (atver funkcijas aprakstu, izmantojams {SDMtune} objekts), ``?ENMeval::enm.predict`` (atver funkcijas aprakstu, izmantojams {ENMeval} objekts) vai daudz tiešāk ar ``?maxnet::predict.maxnet`` (atver funkcijas aprakstu).

3. Populācijas pārmaiņu monitoringa metodikas sagatavošana, izmantojot ekoloģiskās nišas analīzes rezultātus

Populācijas pārmaiņu (fona) monitorings primāri ir paredzēts jēgpilnu populācijas (vai tās rādītāju) pārmaiņu raksturošanai (Sutherland et al., 2004). Tomēr nereti no šādiem monitoringiem tiek prasīta arī populācijas lieluma noskaidrošana, kuras precizitāti visbiežāk ierobežo pieejamo datu apjoms vai izmantoto monitoringa shēmu vispārīgums. Šī uzdevuma mērķis ir izstrādāt tādu monitoringa metodiku, kuru īstenojot ir iespējams sekot ACCGEN populācijas pārmaiņām LVM apsaimniekotajās zemēs un, nepieciešamības gadījumā, aprēķināt tajās sastopamo sugas populācijas lielumu, ņemot vērā nepilnīgu konstatēšanu.

3.3. Latvijas apstākļiem piemērotas vistu vanaga meža populācijas monitoringa programmas izstrāde, ietverot metodiku uzskaišu plānošanai, lauka darbu veikšanai, datu apkopošanai, analīzei un rezultātu interpretācijai

Vistu vanaga meža populācijas monitoringa programmas izstrāde ir balstīta šī pārskata autora pieredzē koordinējot, veicot lauka darbus un analizējot iegūtos rezultātus Latvijas Biodaudzveidības monitoringa programmas Plēsīgo putnu fona monitoringā, šī projekta 2023. un 2024. gada lauka darbu plānošanā un rezultātu analīzē, kā arī 2015. gadā Latvijas Dabas fonda sadarbībā ar AS “Latvijas valsts meži” īstenotajā vistu vanaga konstatēšanas iespējamības pētījumā. Izstrādātā monitoringa programmas metodika ir šī pārskata ceturtajā pielikumā un izstrādātajā dzīvotņu piemērotības telpiskajā modelī, kurš aprakstīts šī pārskata otrajā nodaļā.

Galvenie principi:

1. Monitoringa programma ir veidota primāri populācijas lieluma uzraudzībai, tomēr tajā iestrādāta arī demogrāfijas ziņu ievākšana, ja tā tiek uzskatīta par nepieciešamu. Strukturāli – to ir viegli dzēst. No sugas aizsardzības ekoloģijas viedokļa – šo ziņu ievākšanai metodika šī projekta ietvaros ir izstrādāta jau 2023. gadā;
2. Populācijas lieluma uzraudzībai paredzētas trīs akustiskās uzskaites – divas pirms inkubācijas un tās sākumā, viena – pie lieliem mazuļiem -, lai nodrošinātu augstu konstatēšanas varbūtību un samazinātu gadījuma kļūdu ietekmi populācijas pārmaiņu aprēķinos;
3. Monitoringa veikšanai piedāvātas 2024. gada lauka darbu veikšanas vietas LVM apsaimniekotajās zemēs, bez tām ir aprakstīti kopējie principi vietu izvēlei;
4. Sagatavotais datu analīzes un rezultātu interpretācijas piemērs pieņem laika gaitā un starp uzskaišu veicējiem salīdzināmu faktisko darbu izpildi, nemainīgas piepūli un sugas konstatēšanas varbūtību, lai pēc iespējas atgrieztu analīžu veikšanu – ierosināta un aprakstīta TRIM (*TRends and Indices for Monitoring data*) pieeja (Pannekoek and Strien, 2005), izmantošanai R pakotnē {rtrim};
5. Ik gadu apsekojamo uzskaišu vietu apjoma un veikto atkārtojumu ik sezonā skaita ietekme uz populācijas pārmaiņu rādītāja nenoteiktību raksturota simulāciju eksāmenā, pieņemot 2024. gada lauka darbu rezultātus. Komandu rindas simulāciju atkārtošana ir šī pārskata piektajā pielikumā, zemāk atsevišķi rezultātu piemēri.

Monitoringa metodikā ir aprakstīta un uzskaites vietu apjoma plānošanai izstrādātajā simulāciju eksāmenā (piektais pielikums) ir izmantota R pakotni “rtrim” (Bogaart et al., 2020; Pannekoek et al., 2018), kurā integrēta monitoringa datu apstrādes programmas TRIM 3. versija (Pannekoek and Strien, 2005; Van Strien et al., 2001). Nīderlandes Statistikas biroja zinātnieki ir radījuši šo programmu tieši putnu monitoringa datu apstrādei, tās lietošanu iesaka Eiropas putnu uzskaišu padome (EBCC – *European Bird Census Council*) un tā tiek plaši pielietota Eiropā (Gregory et al., 2005; Gregory and Strien, 2010).

TRIM programma izrēķina katras sezonas indeksu, izmantojot noteikta perioda novērojumu datu rindu dažādās novērojumu vietās (t.i. parauglaukumos, līniju transektēs, punktos), pieļaujot iztrūkstošus novērojumus (t.i. nepilnai datu matricai). Lai izmantotu šo programmu, datu rindām no dažādām uzskaites vietām ir jāpārklājas:

1. katrā uzskaites vietā ir obligāti vismaz divu gadu dati;
2. katru gadu ir jābūt vismaz vienas uzskaites vietas datiem;
3. ja vienas uzskaites vietas datu rinda beidzas un cita datu rinda sākas, tad jābūt vismaz viena gada datiem par abām vietām, vai arī trešajai, kurā uzskaites notikušas gan pirmā, gan otrā parauglaukuma uzskaites gados.

TRIM modelēšana balstās uz Puasona regresijas principiem (t.i. log–lineārajiem modeļiem, (Nelder and Wedderburn, 1972)). Programmas pamatmodelis ir šāds:

$$\ln \mu_{ij} = \alpha_i + \gamma_j,$$

kurā α_i parāda vietas efektu, bet γ_j – gada iespaidu uz naturālo logaritmu no sagaidāmās uzskaites vērtības μ_{ij} . Iztrūkstošie uzskaišu dati (ja šajā gadā uzskaitē attiecīgajā parauglaukumā nav notikusi) tiek aprēķināti, izmantojot novērojumus visos pārējos parauglaukumos attiecīgajā gadā. Sīkāk ar TRIM programmā izmantotajiem modelēšanas matemātiskajiem principiem var iepazīties šīs programmas lietošanas rokasgrāmatās (Pannekoek et al., 2018; Pannekoek and Strien, 2005; van der Meij, 2013; Van Strien et al., 2001).

Pēc gadu indeksu aprēķināšanas, tos izmanto populācijas pārmaiņu tendences aprēķināšanai, kam izmantota vienota populācijas pārmaiņu rādītāju klasifikācija, kas pieņemta visā pasaulē (Soldaat et al., 2007). Metodes pamatā ir populācijas pārmaiņu noteikšana katram gadam, izmantojot gadu indeksa vērtības. Tā ir aprēķināma, izmantojot multiplikatīvo slīpnes koeficientu (S) un tā standartklūdu. Ticamības intervāls (95%) ir iegūstams, standartklūdu pareizinot ar 1,96 – ticamības intervāla apakšējā robeža ir indeksa vērtība mīnus aprēķinātā vērtība, bet augšējā – indeksa vērtība plus aprēķinātā vērtība. Iegūtās ticamības intervāla robežas tiek salīdzinātas ar nemainīgas populācijas multiplikatīvo rādītāju (1,00) un tiek interpretētas sešās populāciju pārmaiņu virziena un apjoma klasēs (3. tabula).

Šī pieeja ir iestrādāta simulāciju eksāmenā (piektais pielikums), pieņemot, ka visas uzskaites vietas tiek apsektas katru gadu (ir pilna datu matrica), galveno uzsvaru liekot ik sezonā veikto atkārtoto apsekojumu skaitam un vispārīgai uzskaites vienību un laika rindas garuma ietekmei.

Līdz šim veiktajos pārmaiņu rādītāju klasifikācijas precizitātes pētījumos ir noskaidrots, ka pat salīdzinoši īsu periodu pārmaiņu rādītāji ir uzticami, ja klasificēti kā statistiski nozīmīgi, jo sevišķi – statistiski nozīmīgi populāciju pieaugumi vai sarukumi, tomēr novērtētais populācijas pārmaiņu apjoms (% izmaiņas) var būt nepietiekoši novērtēts (Wauchope et al., 2018). Šajā pētījumā ir arī pierādīts, ka statistiski nozīmīgai klasifikācijai par populācijas stabilitāti var būt nepieciešamas sevišķi garas laika rindas (vairākas paaudzes), tādēļ vairums trendu klasificējas kā neskaidri (Wauchope et al., 2018), ko ir nepieciešams ņemt vērā, izmantojot simulāciju eksāmenu – komandu rindas monitoringa apjoma plānošanai.

Rezultātu interpretācijai nozīmīgs ir atklājums, ka “neskaidrās” pārmaiņu klasifikācijas ir mazāk jutīgas pret populācijas samazinājumu nekā pieaugumu (Wauchope et al., 2018), līdz ar to, šīs tendences ir jāuztver piesardzīgi – ticamāk populācijas ir sarūkošas, nekā pieaugošas.

Tātad, pārmaiņu rādītāji, kas ir klasificēti kā statistiski nozīmīgi ir uzticami pēc būtības – populācijas pārmaiņu virziena noteikšanā, bet var nepietiekoši novērtēt pārmaiņu apjomu. Savukārt rādītāji, kas klasificējušies kā neskaidri ir jāuztver piesardzīgi un jāvērtē indicētais pārmaiņu virziens centrālajai tendencei – ja tas liecina par samazinājumu, tāds tas, visticamāk, ir. Nenoliedzami, arī pieaugošas populācijas var būt klasificējušās kā neskaidras – labākais veids kā samazināt neskaidrības ir palielināt monitoringa vietu apjomu informācijas aptverei un izmantot garākas laika rindas. Vistu vanagam raksturīgais paaudžu nomaiņas laiks ir 7.8 gadi (<https://datazone.birdlife.org/species/factsheet/northern-goshawk-accipiter-gentilis> [skatīts: 2025-02-23]), kas nozīmē, ka populācijas relatīvā lieluma indikācijas stabilitāte varētu būt sagaidāma no vismaz astoņus gadus gara monitoringa.

3. tabula. Multiplikatīvo populācijas pārmaiņu rādītāju interpretācija, izmantojot ticamības intervālu pieeju un tās ietekmes uz populācijas pārmaiņām raksturojums

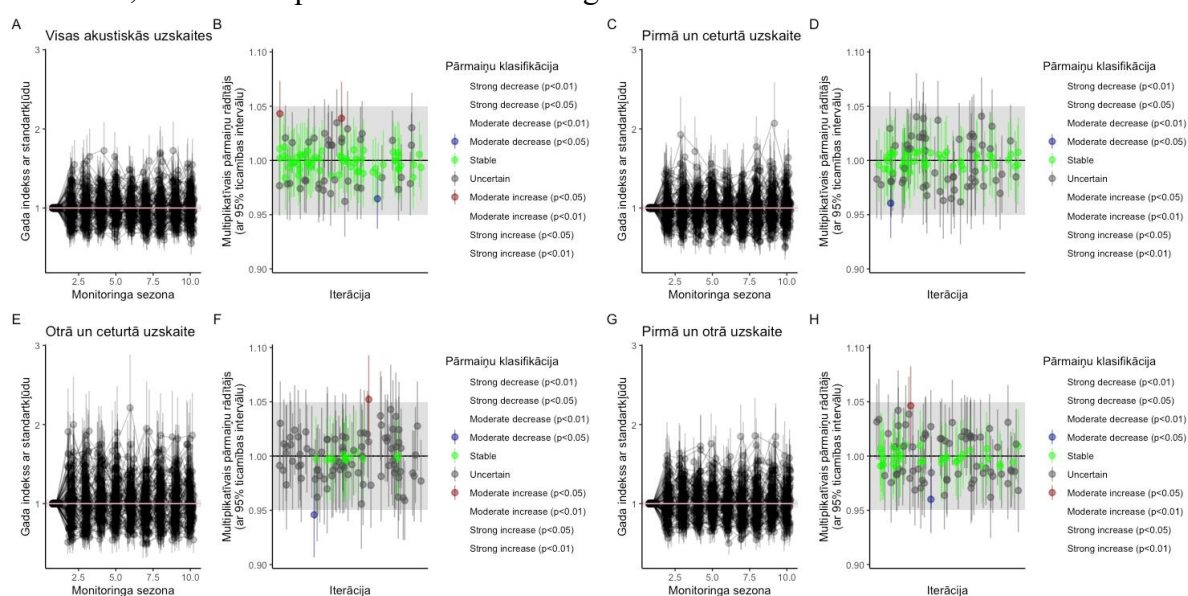
Pārmaiņu rādītāja klase	Ticamības intervāla kritērijs	Apraksts
Straujš pieaugums (<i>Strong increase</i>)	Ticamības intervāla apakšējā robeža ir lielāka par 1,05	Katru gadu populācija pieaug par vairāk kā 5% no iepriekšējā gada populācijas
Mērens pieaugums (<i>Moderate increase</i>)	Ticamības intervāla apakšējā robeža ir lielāka par 1,00, bet mazāka par 1,05	Populācija ir pieaugoša, bet pieaugums var būt mazāks par 5% gadā
Stabils (<i>Stable</i>)	Ticamības intervāls ietver 1,00, tā apakšējā robeža ir lielāka par 0,95 un augšējā ir mazāka par 1,05	Populācijas svārstības ir 5% līmenī
Mērens samazinājums (<i>Moderate decrease</i>)	Ticamības intervāla augšējā robeža ir lielāka par 0,95 un mazāka par 1,00	Populācijas lielums samazinās, bet samazinājums var būt mazāks par 5% gadā
Straujš samazinājums (<i>Strong decrease</i>)	Ticamības intervāla augšējā robeža ir mazāka par 0,95	Katru gadu populācija samazinās par vairāk kā 5% no iepriekšējā gada populācijas
Neskaidrs (<i>Uncertain</i>)	Ticamības intervāls ietver 1,00, bet tā augšējā robeža ir lielāka 1,05 vai apakšējā robeža ir mazāka par 0,95	Ticamības intervāls ir pārāk plašs, lai pielietotu viennozīmīgu trenda klasifikāciju

Šajā pārskatā ir iekļauti piecu simulāciju rezultāti:

1. Stabīlai populācijai 10 gadu monitoringā, kurš veikts 407 uzskaišu vietās (11. att.);
2. Populācijai, kuras lielums divkārt samazinās piecu gadu laikā, monitoringu veicot 407 uzskaišu vietās (12. att.);
3. Populācijai, kuras lielums divkārt samazinās piecu gadu laikā, monitoringu veicot 60 uzskaišu vietās (13. att.);

4. Populācijai, kuras lielums divkārt pieaug piecu gadu laikā, monitoringu veicot 407 uzskaišu vietās (14. att.);
5. Populācijai, kuras lielums divkārt pieaug piecu gadu laikā, monitoringu veicot 60 uzskaišu vietās (15. att.).

Piecu gadu periods ir izvēlēts saistībā ar mežu apsaimniekošanas ciklu un saistībai ar 2023. gada uzstādījumiem tā laika simulāciju eksāmeniem. Desmit gadi ir dubultots laika periods. Populācijas pārmaiņas par divām reizēm ir arbitrāri izvēlēts lielums – tās ir praktiski nozīmīgas, bet ne vienmēr bez mērķtiecīgas datu analīzes pamanāmas dabā. Izmantotais uzskaišu vietu apjoms 407 atspoguļo 2024. gada lauka darbos apsektās vietas LVM apsaimniekotajos mežos, savukārt 60 vietas ir apjoms, ko 2024. gada lauka darbos varēja izdarīt trīs līdz četri cilvēki vienai uzskaitē veltot vienu līdz divas dienas, tomēr to faktiski ietekmē uzskaites vietu novietojums, pieejamība un pārvietojumiem starp tām nepieciešamais laiks. Visās simulācijās ir iestrādāts tāds sugas konstatēšanas sadalījums starp akustiskajām uzskaitēm, kāds tas empīriski novērots 2024. gada lauka darbos.

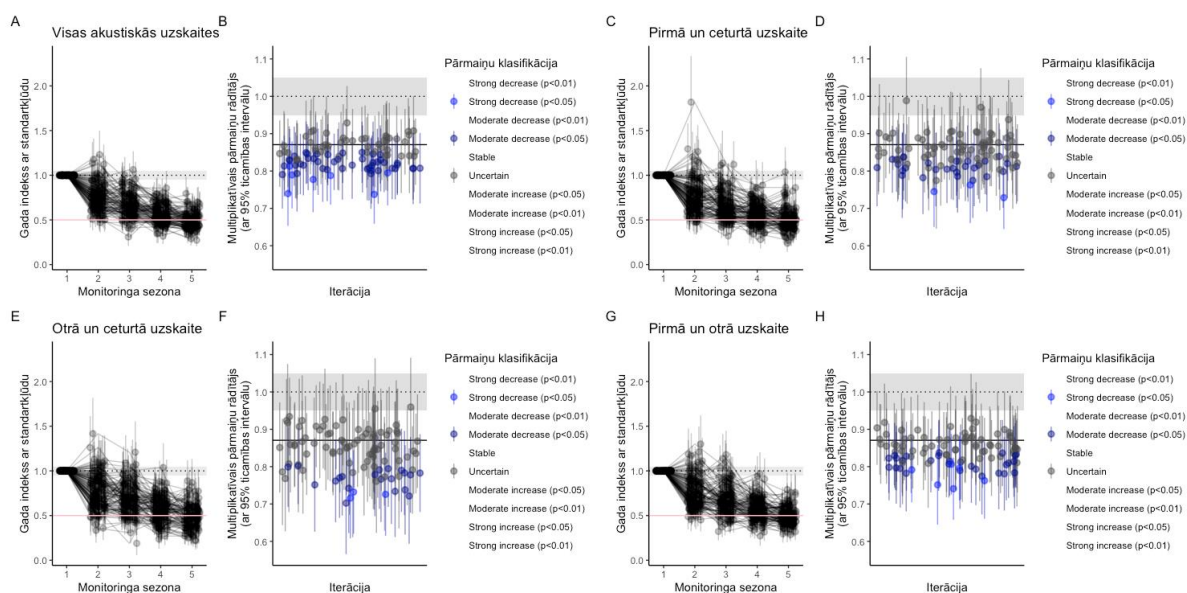


11. attēls. Sagaidāmie populācijas pārmaiņu rādītāji vistu vanaga populācijai, kura monitorēta 407 vietās ar sugas sastopamības varbūtību ~13 %, iestrādājot **stabilu populāciju desmit gadu garumā** un visu sistēmu (datu ģenerēšanas un analīzes procesu) veicot 100 **simulācijās** (individuālās ģeometrijas attēlu daļās). Pārmaiņu rādītāju klasifikācija atspoguļo TRIM lietoto. Sugas konstatēšanas varbūtības ietekme dažādās uzskaitēs ir pieņemta no 2024. gada lauka darbos novērotās. Attēla daļās ir sagaidāmie rezultāti ar dažādu monitoringa piepūli: A un B – veicot visas trīs akustiskās uzskaites; C un D – veicot pirmo un ceturto uzskaiti; E un F – veicot otro un ceturto uzskaiti; G un H – veicot pirmo un otro uzskaiti. Katra uzskaišu komplekta rezultāti demonstrēti kā gadu indeksi (kreisās puses attēli A, C, E un G) un populācijas pārmaiņu rādītāji (labās puses attēli B, D, F un H). Visās attēla daļās punktētā līnija pret vērtību 1 nozīmē stabilu populāciju un pelēkā zona ap to – klasifikācijā izmantoto intervālu; gadu indeksiem rozā līnija apzīmē simulācijā iestrādāto pārskata perioda beigu populācijas relatīvo lielumu, tā ikgadējo pārmaiņu apjoms tendences klasifikācijā (labās puses attēlos) ir ar nepārtrauktu melnu līniju.

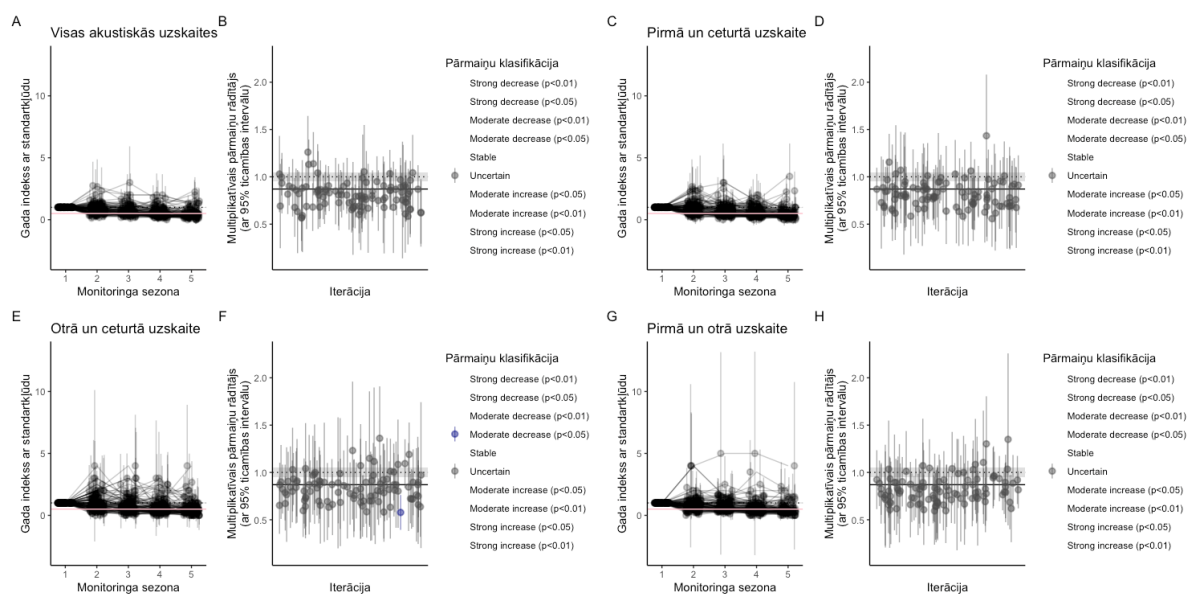
Kā 11. att. redzams, monitoringu īstenojot ar visai lielu piepūli (407 uzskaišu vietas), jau desmit gadu laikā ir iespējams iegūt pārmaiņu rādītāju klasifikāciju, kas vairumā simulāciju spēj korekti atpazīt stabilu populāciju, ja ir veiktas visas paredzētās akustiskās uzskaites (11.A un 11.B att.). Izlaižot jebkuru no uzskaitēm, ir redzama izteikta variabilitātes pieaugums gadu indeksu vērtībās (11.C, 11.E, 11.G att.), kas rezultējas pārmaiņu rādītāja nenoteiktības

pieaugumā, izpaušoties kā plašāki ticamības intervāli (11.D, 11.F, 11.H att.), un tā rezultātā ievērojami zaudēta spēja korekti atpazīt stabilu populāciju. Kā jau iepriekš rakstīts, populācijas stabilitātes korekta atpazīšana ir izaicinoša un to par uzticamu parasti var sagaidīt pēc ilgstoši (vairāku paaudžu nomainas laiks) veikta monitoringa, kas vistu vanaga gadījumā būtu ap 23 gadiem. Ir maz ticams, ka tik ilgā termiņā jebkura populācija spēj būt patiesi stabila, ja tā ir ilgstoši bijusi sarūkoša kā vistu vanagam, tomēr, ja indikāciju ir iespējams gaidīt tik ilgi, šo rādītāju var iegūt ar ievērojami mazāku vietu skaitu. Šajā un sekojošajos attēlos ir skaidri redzams, ka, neveicot pirmo uzskaiti, ievērojami zūd modeļu spēja, ir redzams relatīvi neliels ceturtās (mazuļu laika) uzskaites pienesums populācijas pārmaiņu rādītāju raksturošanā, tomēr tā ir nozīmīga demogrāfijas ziņu iegūšanai un ar sugas praktisku aizsardzību saistītām aktivitātēm.

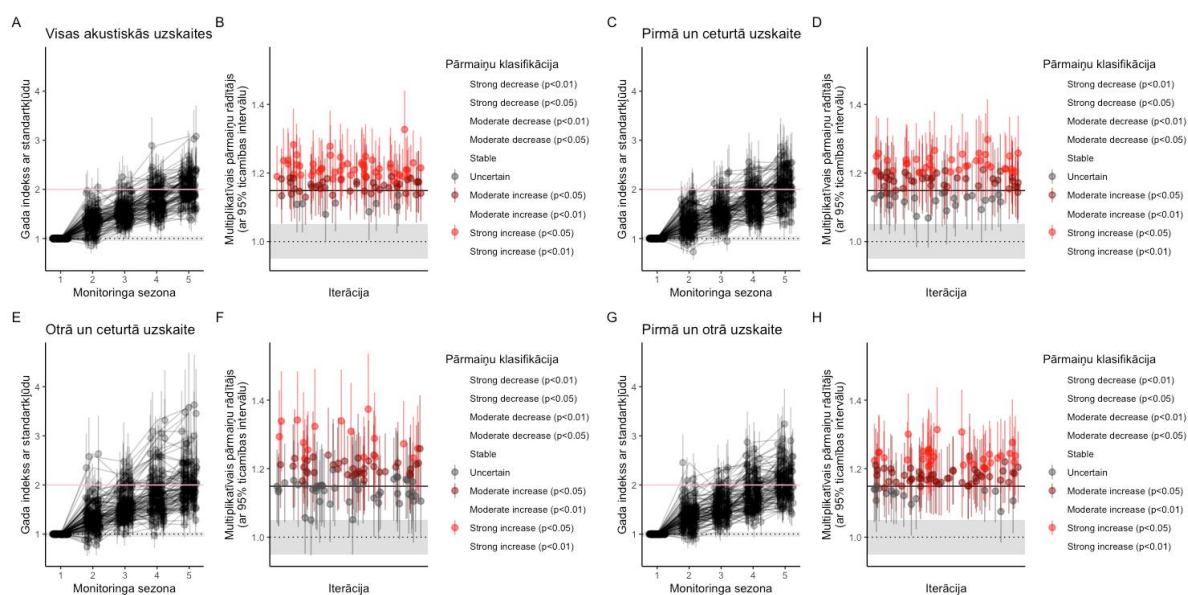
Visas šīs īpašības izpaužas arī sekojošajos attēlies, tie ir ievietoti, lai to demonstrētu un uzsvētu uzskaitītu vietu un populācijas lieluma pārmaiņu apjoma nozīmi, ja ir nepieciešama strauja indikācija (piemēram, pēc piecām monitoringa sezonām) – apjomīgākas pārmaiņas ir vieglāk konstatējamas, tomēr mazām populācijām arī nelielas pārmaiņas var atstāt lielu ietekmi.



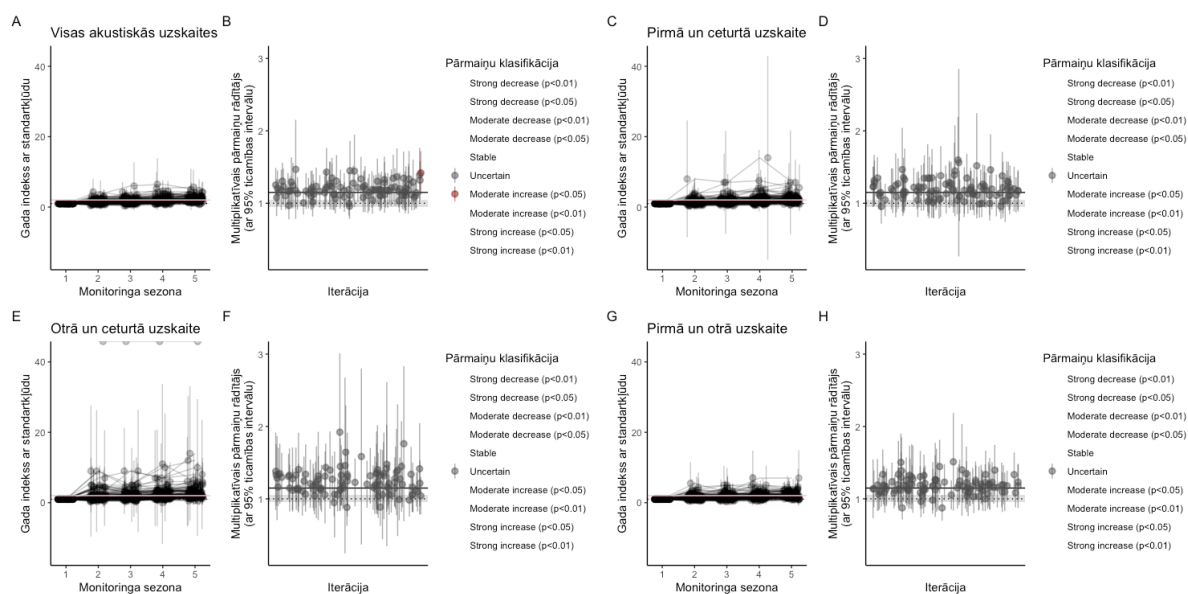
12. attēls. Sagaidāmie populācijas pārmaiņu rādītāji vistu vanaga populācijai, kura monitorēta 407 vietās ar sugas sastopamības varbūtību ~13 %, iestrādājot divkārtu samazinājumu piecu gadu garumā un visu sistēmu (datu ģenerēšanas un analīzes procesu) veicot 100 simulācijās (individuālās ģeometrijas attēlu daļās). Apzīmējumi kā 11. att.



13. attēls. Sagaidāmie populācijas pārmaiņu rādītāji vistu vanaga populācijai, kura monitorēta 60 vietās ar sugas sastopamības varbūtību ~13 %, iestrādājot divkāršu samazinājumu piecu gadu garumā un visu sistēmu (datu ģenerēšanas un analīzes procesu) veicot 100 simulācijās (individuālās ģeometrijas attēlu daļās). Apzīmējumi kā 11. att.



14. attēls. Sagaidāmie populācijas pārmaiņu rādītāji vistu vanaga populācijai, kura monitorēta 407 vietās ar sugas sastopamības varbūtību ~13 %, iestrādājot divkāršu pieaugumu piecu gadu garumā un visu sistēmu (datu ģenerēšanas un analīzes procesu) veicot 100 simulācijās (individuālās ģeometrijas attēlu daļās). Apzīmējumi kā 11. att.



15. attēls. Sagaidāmie populācijas pārmaiņu rādītāji vistu vanaga populācijai, kura monitorēta 60 vietās ar sugas sastopamības varbūtību ~13 %, iestrādājot divkārtu pieaugumu piecu gadu garumā un visu sistēmu (datu ģenerēšanas un analīzes procesu) veicot 100 simulācijās (individuālās ģeometrijas attēlu daļās). Apzīmējumi kā 11. att.

3.4. Aprakstu (instrukciju) sagatavošana metodikas praktiskai pielietošanai, t.sk. (1) uzskaišu veikšanai, (2) datu analīzei un interpretācijai

Instrukcija monitoringa koordinatoriem:

1. Nodrošināt uzskaišu veicējiem nepieciešamo inventāru līdz katras uzskaišu sezonas sākumam, nodrošināt tā piemērotu uzglabāšanu (sevišķi – akumulatoriem). Nepieciešamais inventārs:
 - a) iekārta un programmatūra navigācijai starp uzskaišu vietām, uzskaišu vietu atrašanai dabā un uzskaites gaitas un rezultātu reģistrēšanai;
 - b) jebkuras izmaiņas uzskaites gaitas un rezultātu reģistrēšanas platformā savlaicīgi komunicēt ar lauka darbu veicējiem, atgādinot par vides sinhronizāciju un iepazīstinot ar izmaiņām;
 - c) visiem uzskaišu veicējiem ir pieejamas vienādas balss ierakstu atskaņošanas iekārtas (metodikā paredzētās), vieni un tie paši balss ierakstī (metodikā paredzētie) un tie tiek korekti izmantoti;
2. Tuvojoties uzskaišu sezonas sākumam, pārliecināties par to, ka lauka uzskaiču veicēji ir atkārtējuši monitoringa metodiku, nepieciešamības gadījumā nodrošinot iespēju to pārrunāt. Uzskaišu sezonas laikā atgādināt par uzskaišu veikšanas laikiem un savlaicīgu datu apkopošanu (vēlams, digitāli, ar datu glabāšanas serveri saistītā aplikācijā);
3. Būt gataviem ierosināt veicamo maršrutu (pārvietošanās ceļus) starp uzskaišu vietām, optimālai darba plānošanai;
4. Pēc lauka darbu beigām, pirms nākošās sezonas sākuma, nodrošināt atgriezenisko saiti uzskaišu veicējiem par līdzšinējiem monitoringa programmas rezultātiem.

Instrukcija uzskaišu veikšanai:

1. Uzskaišu veicējiem ir jābūt labām putnu pazīšanas spējām. Galvenokārt pēc balss, bet arī pēc izskata un to atstātajām pazīmēm dabā. Šī ir izgaistoša prasme, kuru ir nepieciešams regulāri trenēt, uzturēt un atjaunot;
2. Pirms uzskaišu sezonas ir nepieciešams iepazīties ar monitoringa programmas metodiku. Jāuztur saziņa ar uzskaišu koordinatoriem, jāklausa un jāseko to ieteikumiem un norādēm. Jebkurā monitoringā ir svarīgi ar salīdzināmām pieejām iegūt salīdzināmus datus;
3. Pirms katras uzskaišu reizes ir nepieciešams pārliecināties par inventāra pieejamību un tā atrašanos darba kārtībā. Jebkuras problēmas ar inventāru ir savlaicīgi komunicējamas ar uzskaišu koordinatoriem. Inventārs:
 - a) iekārta un programmatūra navigācijai starp uzskaišu vietām, uzskaišu vietu atrašanai dabā un uzskaites gaitas un rezultātu reģistrēšanai. Iekārtas ir uzlādētas, ir nodrošināta rezerves barošana (akumulatori);
 - b) balss ierakstu atskaņošanas iekārtas (metodikā paredzētās) ir pieejamas, uzlādētas ar pietiekošu rezervi plānotajai uzskaitēi un sniedz labu skaņas kvalitāti. Atskaņošanai nepieciešamie ieraksti ir pieejami, ir skaidrs, kurš ieraksts ir konkrētajā uzskaitē atskaņojams;
4. Uzskaišu veikšanai izmantot visu tam metodikā paredzēto laiku, to nepārsniedzot. Nepieciešamības gadījumā pirmās nākošā rīta uzskaišu veikšanas vietas tuvumā jāierodas jau iepriekšējā vakarā;
5. Uzskaites ir plānojamas un veicamas tikai tam piemērotos laika apstākļos – bez nokrišņiem, ar vēja ātrumu, kas nepārsniedz ceturto klasi pēc Boforta skalas;
6. Ierodoties uzskaites vietā:

- a) izkāpj no auto vai nomierinās pēc gājiena – apmēra divas minūtes ievēro klusumu, klausās mežā dzirdamo, reģistrē uzskaites sākuma laiku un uzskaites apstākļus;
 - b) pēc klusuma pauzes beigām, uzsāk konkrētajai uzskaites reizei paredzēto balss ierakstu (pirmajās divās uzskaitēs – teritoriālo balsi; pēdējā uzskaitē – dažādu balsu kombināciju). Atskaņošanu veic līdz ierakstā atskan beigu signāls vai tiek konstatēta vistu vanaga atbilde:
 - i. ja ir konstatēta vistu vanaga atbilde ierakstu aptur, atbildi reģistrē tam paredzētajā formā norādot pirmās konstatēšanas vietu (aptuveno putna atrašanās vietu pirmās konstatācijas brīdī), apraksta pārējās novērojumu tabulā prasītās vērtības. Pēc reģistrācijas uzskaites vietā uzturas tik ilgi, lai tajā būtu pavadītas vismaz piecas minūtes ieraksta skaņēšanas laika ekvivalenta, lai pārliecinātos, ka tuvumā nav citu vanagu un klausītos un vērotu pazīmes, kuras var palīdzēt ligzdas meklēšanā;
 - ii. ja vistu vanaga atbilde nav konstatēta, pēc ieraksta beigu signāla atskanēšanas to aptur un apraksta uzskaites beigās;
 - c) Sinhronizē ziņošanas formu ar datu uzkrāšanas serveri un dodas prom no uzskaites vietas;
7. Pēc akustiskajām uzskaitēm paredzētā diennakts laika beigām (vēlams tajā pašā dienā, bet drīkst arī citā) – apmēram 5:30 h kopš saullēkta, atkārtoti apseko tās uzskaišu vietas, kurās tika konstatēta vistu vanaga klātbūtne un velta vismaz stundu ligzdas meklēšanai, sākot ar to reģionu, kurā tika reģistrēta pirmā atbilde. Ja ligzdu atrast neizdodas, bet suga tiek atkārtoti konstatēta, ir vērts vēlreiz pārstaigāt arī to pašu reģionu nedaudz pamainot maršrutu, jo ne visas ligzdas ir viegli ieraugāmas;
 8. Pēc katras uzskaites, ja interneta pārklājums to atļauj, bet ne retāk kā divas reizes uzskaišu dienā – pirms uzskaišu sākuma un pēc uzskaišu beigām – sinhronizē uzskaišu gaitas un rezultātu reģistrēšanas vidi ar datu uzkrāšanas serveri;
 9. Katru gadu veic visas monitoringa programmas metodikā paredzētās uzskaites tām paredzētajos diennakts un kalendārajos laikos visās monitoringa programmas koordinātoru norādītajās vietās.

Instrukcija datu analīzei un interpretācijai:

1. Datu analīzei un interpretācijai seko monitoringa programmas metodikā aprakstītajai gaitai;
10. TRIM analīzei sezonas ietvaros izmanto maksimālo klātbūtnes vērtību starp uzskaites reizēm. Ja kādā vietā nav veiktas visas uzskaites un suga nav konstatēta, vietu konkrētajā gadā pirms analīzes atzīmē kā neapsekotu;
11. TRIM analīzei pār sezonām izmanto tikai tās vietas, kurās ir veiktas visas paredzētās uzskaites vismaz divās sezonās;
12. TRIM analīzi veic ar `model=3`, izmēģinot visas sēriju korelācijas un virsdispersijas kombinācijas, beigu modeli izvēlot ar zemāko Akaikes informācijas kritērija vērtību (AIC). Vienādu AIC vērtību gadījumā – vienkāršāko. Ja sākotnējā populācija ir neliela un tajā novērojamo dilšanas procesu rezultātā veidojas gadi bez pozitīvām uzskaitēm, analīzes sistēmu drīkst paplašināt uz `model=2`, vienlaikus ar uzskaites vietu apjoma palielināšanu;
13. Gadu indeksi izmanto rezultātu pēc imputācijas, to ziņo ar nenoteiktību (atbilstošo standartklūdu vai 95% ticamības intervālu);

14. Kopējo pārmaiņu raksturošanai izmanto multiplikatīvo rādītāju, to ziņo kopā ar noteiktības raksturojumu (standartklūdu vai 95% ticamības intervālu). Pārmaiņu rādītāja klasifikācijai izmanto TRIM iebūvēto – programmas ziņoto analīzes beigās.

4. LVM valdījuma zemēs sastopamās vistu vanaga populācijas lieluma noteikšana

4.1. Vistu vanaga meža populācijas lieluma noteikšana, izmantojot nepilnīgas konstatēšanas kvantitatīvās ekoloģijas datu analīzes metodes

Aktivitāte ir uzsākta līdz ar 2024. gada lauka sezonu un lauka darbu veikšanu. Uzdevuma termiņš ir 15.12.2025., tomēr zināmu ieskatu var sniegt ar jau esošajiem rezultātiem. Šī pārskata rezultāti liecina, ka LVM apsaimniekotajās zemēs (<https://data.gov.lv/dati/dataset/lvm-zemes-vienibas> [lejupielāde 2024-08-21]) atrodas:

1. ~ 54% vistu vanaga šķietamās populācijas (6. att. vērtību īpatsvars);
2. ~ 67% vistu vanagam piemēroto dzīvotņu (izmantojot vienādas sensitivitātes un specifiskuma sliekšni projicētās dzīvotņu piemērotības klasifikācijai);
3. ~ 73% no prioritārajām un ~ 64% no augstas nozīmes vietām šūnas līmeņa prioritizācijā (10.C att.);
4. ~ 74% no prioritārajām un ~ 54% no augstas piemērotības vietām ligzdošanas iecirkņa līmenim izlīdzinātajā prioritizācijā (10.F att.).

No visām LVM apsaimniekotajām zemēm:

1. ~ 29% ir vistu vanagam piemērotas (izmantojot vienādas sensitivitātes un specifiskuma sliekšni projicētās dzīvotņu piemērotības klasifikācijai);
2. ~ 10% ir prioritāras un ~ 19% ir augstas nozīmes vietas šūnas līmeņa prioritizācijā (10.C att.);
3. ~ 26% ir prioritāras un ~ 38% ir augstas nozīmes vietas ligzdošanas iecirkņa līmenim izlīdzinātajā prioritizācijā (10.F att.).

Informācijas avotu saraksts

- Allouche, O., Tsoar, A., Kadmon, R., 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology* 43, 1223–1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Auniņš, A., Mārdega, I., 2020. Dienas putnu fona monitorings. Gala atskaite par 2020. gadu. Rīga.
- Avotiņš, A., 2021. Plēsīgo putnu valsts (fona) monitorings. Gala atskaite par 2021. gadu. Rīga.
- Avotins, A., Kerus, V., Aunins, A., 2022. National scale habitat suitability analysis to evaluate and improve conservation areas for a mature forest specialist species. *Glob Ecol Conserv* 38. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02218>
- Avotiņš jun., A., Lebus, R., 2018. Natura 2000 teritoriju putnu populāciju datu apstrāde un analīze. Rīga.
- Backstrom, L.J., Callaghan, C.T., Worthington, H., Fuller, R.A., Johnston, A., 2024. Estimating sampling biases in citizen science datasets. *Ibis* 1–15. <https://doi.org/10.1111/ibi.13343>
- Bahn, V., McGill, B.J., 2007. Can niche-based distribution models outperform spatial interpolation? *Global Ecology and Biogeography* 16, 733–742. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00331.x>
- Beale, C.M., Lennon, J.J., Gimona, A., 2008. Opening the climate envelope reveals no macroscale associations with climate in European birds. *Proc Natl Acad Sci U S A* 105, 14908–14912. <https://doi.org/10.1073/pnas.0803506105>
- Bergmanis, U., Kalvāns, A., Amerika, K., 2017. Lielajās ligzdās ligzdojošo plēsīgo putnu (mazais ērglis, jūras ērglis, zivjērglis, vistu vanags) un melnā stārķa dzīvotņu mežu ekoloģiskais un ģeotelpiskais raksturojums, rekomendācijas dzīvotņu aizsardzībai. Rēzekne.
- BirdLife International, 2022. *Accipiter gentilis* [WWW Document]. Species factsheet. URL <http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/northern-goshawk-accipiter-gentilis> (accessed 10.3.22).
- BirdLife International, 2021. *Accipiter gentilis* [WWW Document]. The IUCN Red List of Threatened Species 2021. URL <https://www.iucnredlist.org/fr/species/22695683/166300716> (accessed 10.3.22).
- Björklund, H., Parkkinen, A., Hakkari, T., Heikkinen, R.K., Virkkala, R., Lensu, A., 2020a. Predicting valuable forest habitats using an indicator species for biodiversity. *Biol Conserv* 249, 108682. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108682>
- Björklund, H., Parkkinen, A., Hakkari, T., Heikkinen, R.K., Virkkala, R., Lensu, A., 2020b. Predicting valuable forest habitats using an indicator species for biodiversity. *Biol Conserv* 249. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108682>
- Björklund, H., Valkama, J., Tomppo, E., Laaksonen, T., Lambertucci, S.A., 2015. Habitat effects on the breeding performance of three forest-Dwelling Hawks. *PLoS One* 10, 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137877>
- Blakey, R. V., Siegel, R.B., Webb, E.B., Dillingham, C.P., Johnson, M., Kesler, D.C., 2020. Northern Goshawk (*Accipiter gentilis*) Home Ranges, Movements, and Forays Revealed by GPS-Tracking. *Journal of Raptor Research* 54, 388–401. <https://doi.org/10.3356/0892-1016-54.4.388>
- Boal, C.W., Andersen, D.E., Kennedy, P.L., 2001. HOME RANGE AND HABITAT USE OF NORTHERN GOSHAWKS (*Accipiter gentilis*) IN MINNESOTA, Wildlife Research. St. Paul, Minnesota, USA.

- Bogaart, P., van der Loo, M., Pannekoek, J., 2020. rtrim: Trends and Indices for Monitoring Data.
- Bohl, C.L., Kass, J.M., Anderson, R.P., 2019. A new null model approach to quantify performance and significance for ecological niche models of species distributions. *J Biogeogr* 46, 1101–1111. <https://doi.org/10.1111/jbi.13573>
- Čerkauskas, A., Skuja, S., Augutis, D., 2016. Nest sites and their surroundings of Northern Goshawk in north-eastern Lithuania. *Paukščiai* 32, 8–11.
- Chapman, D.S., 2010. Weak climatic associations among British plant distributions. *Global Ecology and Biogeography* 19, 831–841. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00561.x>
- del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., 1994. Handbook of the Birds of the World - Volume 2: New World Vultures to Guinea-fowl. Lynx Edicions.
- Dorazio, R.M., 2014. Accounting for imperfect detection and survey bias in statistical analysis of presence-only data. *Global Ecology and Biogeography* 23, 1472–1484. <https://doi.org/10.1111/geb.12216>
- Dormann, C.F., Schymanski, S.J., Cabral, J., Chuine, I., Graham, C., Hartig, F., Kearney, M., Morin, X., Römermann, C., Schröder, B., Singer, A., 2012. Correlation and process in species distribution models: Bridging a dichotomy. *J Biogeogr* 39, 2119–2131. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02659.x>
- Eionet, 2020. Bird population status and trends at the EU and Member State levels 2013-2018 [WWW Document]. Article 12 web tool on population status and trends of birds under Article 12 of the Birds Directive. URL <https://nature-art12.eionet.europa.eu/article12/>
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E., Yates, C.J., 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Divers Distrib* 17, 43–57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Fletcher, R.J., Hefley, T.J., Robertson, E.P., Zuckerberg, B., McCleery, R.A., Dorazio, R.M., 2019. A practical guide for combining data to model species distributions. *Ecology* 100. <https://doi.org/10.1002/ecy.2710>
- Fourcade, Y., Besnard, A.G., Secondi, J., 2018. Paintings predict the distribution of species, or the challenge of selecting environmental predictors and evaluation statistics. *Global Ecology and Biogeography* 27, 245–256. <https://doi.org/10.1111/geb.12684>
- Fourcade, Y., Engler, J.O., Rödder, D., Secondi, J., 2014. Mapping species distributions with MAXENT using a geographically biased sample of presence data: A performance assessment of methods for correcting sampling bias. *PLoS One* 9, 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097122>
- Gregory, R.D., Strien, A. Van, 2010. Wild bird indicators: Using composite population trends of birds as measures of environmental health. *Ornithol Sci* 9, 3–22. <https://doi.org/10.2326/osj.9.3>
- Gregory, R.D., Van Strien, A., Vorisek, P., Meyling, A.W.G., Noble, D.G., Foppen, R.P.B., Gibbons, D.W., 2005. Developing indicators for European birds. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 360, 269–288. <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1602>
- Guisan, A., Thuiller, W., Zimmermann, N.E., 2017. Habitat suitability and distribution models: With applications in R. <https://doi.org/10.1017/9781139028271>
- Johnston, A., Moran, N., Musgrove, A., Fink, D., Baillie, S.R., 2020. Estimating species distributions from spatially biased citizen science data. *Ecol Modell* 422. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108927>
- Kass, J.M., Anderson, R.P., Espinosa-Lucas, A., Juárez-Jaimes, V., Martínez-Salas, E., Botello, F., Tavera, G., Flores-Martínez, J.J., Sánchez-Cordero, V., 2020. Biotic predictors with phenological information improve range estimates for migrating

- monarch butterflies in Mexico. *Ecography* 43, 341–352.
<https://doi.org/10.1111/ecog.04886>
- Ķerus, V., Dekants, A., Auniņš, A., Mārdega, I., 2021. Latvijas ligzdojošo putnu atlanti 1980–2017. Latvijas Ornitoloģijas biedrība, Rīga.
- Kéry, M., Royle, J.A., 2016. *Applied Hierarchical Modeling in Ecology: Analysis of distribution, abundance and species richness in R and BUGS*, Applied Hierarchical Modeling in Ecology. Academic Press, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801378-6.01001-8>
- Lobo, J.M., Jiménez-valverde, A., Real, R., 2008. AUC: A misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* 17, 145–151. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x>
- Lõhmus, A., 2006. Nest-tree and nest-stand characteristics of forest-dwelling raptors in east-central Estonia: implications for forest management and conservation, in: *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences in Biology and Ecology*. Estonian Academy of Sciences, Tallinn, pp. 31–50.
- McElreath, R., 2018. Statistical rethinking: A bayesian course with examples in R and stan. *Statistical Rethinking: A Bayesian Course with Examples in R and Stan* 1–469.
<https://doi.org/10.1201/9781315372495>
- Moilanen, A., Kotiaho, J.S., 2018. Planning biodiversity offsets: twelve operationally important decisions. The Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Moilanen, Atte, Kotiaho, J.S., 2018. Planning biodiversity offsets - Twelve operationally important decisions, TemaNord. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
<https://doi.org/10.6027/TN2018-513>
- Moilanen, A., Kujala, H., Mikkonen, N., 2020. A practical method for evaluating spatial biodiversity offset scenarios based on spatial conservation prioritization outputs. *Methods Ecol Evol* 11, 794–803. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13381>
- Moilanen, A., Pouzols, F.M., Meller, L., Veach, V., Aponen, A., Leppanen, J., Kujala, H., 2014. Spatial conservation planning methods and software ZONATION version 4. User manual. University of Helsinki, Helsinki.
- Moilanen, A., Wilson, K., Possingham, H., 2009. Spatial conservation prioritization: quantitative methods and computational tools, in: Moilanen, A., Wilson, K.A., Possingham, H.P. (Eds.), *Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools*. Oxford University Press, Oxford.
- Montgomery, D.C., Peck, E.A., Vinning, G.G., 2012. *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Moudrý, V., Bazzichetto, M., Remelgado, R., Devillers, R., Lenoir, J., Mateo, R.G., Lembrechts, J.J., Sillero, N., Lecours, V., Cord, A.F., Barták, V., Balej, P., Rocchini, D., Torresani, M., Arenas-Castro, S., Man, M., Prajzlerová, D., Gdulová, K., Prošek, J., Marchetto, E., Zarzo-Arias, A., Gábor, L., Leroy, F., Martini, M., Malavasi, M., Cazzolla Gatti, R., Wild, J., Šímová, P., 2024. Optimising occurrence data in species distribution models: sample size, positional uncertainty, and sampling bias matter. *Ecography* 1–20. <https://doi.org/10.1111/ecog.07294>
- Muscarella, R., Galante, P.J., Soley-Guardia, M., Boria, R.A., Kass, J.M., Uriarte, M., Anderson, R.P., 2014. ENMeval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for Maxent ecological niche models. *Methods Ecol Evol* 5, 1198–1205. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12261>
- Naimi, B., 2017. Package ‘usdm’.
- Naimi, B., Hamm, N.A.S., Groen, T.A., Skidmore, A.K., Toxopeus, A.G., 2014. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography* 37, 191–203. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00205.x>

- Nelder, J.A., Wedderburn, R.W.M., 1972. Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* *J. R. Statist. Soc. A* 13517213, 370–384. <https://doi.org/10.2307/2344614>
- Ogawa, R., Wang, G., Burger, L.W., Strickland, B.K., Davis, J.B., Cunningham, F.L., 2024. Bayesian integrated species distribution models for hierarchical resource selection by a soaring bird. *Ecol Inform* 82, 102787. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102787>
- Pannekoek, J., Bogaart, P., van der Loo, M., 2018. Models and statistical methods in rtrim. *CBS Discussion* 1–34.
- Pannekoek, J., Strien, A. Van, 2005. TRIM 3 Manual (TRends & Indices for Monitoring data). *Statistics (Ber)* 1–58.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Dudík, M., Schapire, R.E., Blair, M.E., 2017. Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography* 40, 887–893. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol Modell* 6, 231–252. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S.J., Dudik, M., Elith, J., Graham, C.H., Leathwick, J., Ferrier, S., Applications, S.E., Jan, N., Phillips, S.J., Dud, M., Elith, J., Graham, C.H., Lehmann, A., Leathwick, J., Ferrier, S., 2009. Sample Selection Bias and Presence-Only Distribution Models: Implications for Background and Pseudo-Absence Data. *Ecological Applications* 19, 181–197.
- Phillips, S.J., Dudik, M., Schapire, R., 2004. A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning* 655–662.
- Radosavljevic, A., Anderson, R.P., 2014. Making better Maxent models of species distributions: Complexity, overfitting and evaluation. *J Biogeogr* 41, 629–643. <https://doi.org/10.1111/jbi.12227>
- Raes, N., Ter Steege, H., 2007. A null-model for significance testing of presence-only species distribution models. *Ecography* 30, 727–736. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05041.x>
- Roberts, D.R., Bahn, V., Ciuti, S., Boyce, M.S., Elith, J., Guillera-Arroita, G., Hauenstein, S., Lahoz-Monfort, J.J., Schröder, B., Thuiller, W., Warton, D.I., Wintle, B.A., Hartig, F., Dormann, C.F., 2017. Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. *Ecography* 40, 913–929. <https://doi.org/10.1111/ecog.02881>
- Rutz, C., 2006. Home range size, habitat use, activity patterns and hunting behaviour of urban-breeding Northern Goshawks *Accipiter gentilis*. *Ardea* 94, 185–202.
- Saurola, P., Valkama, J., Velmala, W., 2013. Suomen rengastusatlas. I = The Finnish bird ringing atlas. Vol. I. Finnish Museum of Natural History and Ministry of Environment, Helsinki.
- Soldaat, L.L., Visser, H., Roomen, M., Strien, A., 2007. Smoothing and trend detection in waterbird monitoring data using structural time-series analysis and the Kalman filter. *Journal of Ornithology* 148, 351–357. <https://doi.org/10.1007/s10336-007-0176-7>
- Soley-Guardia, M., Carnaval, A.C., Anderson, R.P., 2019. Sufficient versus optimal climatic stability during the Late Quaternary: Using environmental quality to guide phylogeographic inferences in a Neotropical montane system. *J Mammal* 100, 1783–1807. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz162>
- Sprūde, F.R., 2023. VISTU VANAGA (ACCIPITER GENTILIS) LATVIJAS POPULĀCIJU ĢENĒTISKAIS RAKSTUROJUMS. Latvijas Universitāte.

- Sutherland, W.J., Newton, I., Green, R.E., 2004. *Bird Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques*. Oxford University Press, New York.
- Tolvanen, J., Pakanen, V.M., Valkama, J., Tornberg, R., 2017. Apparent survival, territory turnover and site fidelity rates in Northern Goshawk *Accipiter gentilis* populations close to the northern range limit. *Bird Study* 64, 168–177. <https://doi.org/10.1080/00063657.2017.1309351>
- Väli, Ü., Vainu, O., 2013. Movements of the Goshawk in Estonia: An analysis of ring recoveries. *Ring and Migration* 28, 106–112. <https://doi.org/10.1080/03078698.2013.869907>
- van der Meij, T., 2013. birdSTATs. Species Trends Analysis Tool (STAT) for European bird data 2011, 30.
- Van Strien, A.J., Pannekoek, J., Gibbons, D.W., 2001. Indexing european bird population trends using results of national monitoring schemes: A trial of a new method. *Bird Study* 48, 200–213. <https://doi.org/10.1080/00063650109461219>
- Velasco, J.A., González-Salazar, C., 2019. Akaike information criterion should not be a “test” of geographical prediction accuracy in ecological niche modelling. *Ecol Inform* 51, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.02.005>
- Veloz, S.D., 2009. Spatially autocorrelated sampling falsely inflates measures of accuracy for presence-only niche models. *J Biogeogr* 36, 2290–2299. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02174.x>
- Warren, D.L., Glor, R.E., Turelli, M., 2010. ENMTools: A toolbox for comparative studies of environmental niche models. *Ecography* 33, 607–611. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06142.x>
- Warren, D.L., Matzke, N.J., Cardillo, M., Baumgartner, J.B., Beaumont, L.J., Turelli, M., Glor, R.E., Huron, N.A., Simões, M., Iglesias, T.L., Piquet, J.C., Dinnage, R., 2021. ENMTools 1.0: an R package for comparative ecological biogeography. *Ecography* 44, 504–511. <https://doi.org/10.1111/ecog.05485>
- Warren, D.L., Seifert, S., 2011. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications* 21, 335–342. <https://doi.org/10.1890/10-1171.1>
- Wauchope, H., Amano, T., Sutherland, W., Johnston, A., 2018. When can we trust population trends? A method for quantifying the effects of sampling interval and duration. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/498170>
- Wenger, S.J., Olden, J.D., 2012. Assessing transferability of ecological models: An underappreciated aspect of statistical validation. *Methods Ecol Evol* 3, 260–267. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00170.x>
- Wikle, C.K., Zammit-Mangion, A., Cressie, N., 2019. *Spatio-Temporal Statistics with R*. Taylor & Francis, Florida.
- Zuur, A.F., 2009. *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer.

Pielikumi

1. pielikums

Modeļa kalibrēšanas lauka darbu metodika failā "Pielikums1.docx"

2. pielikums

Projekta ietvaros apsekoto lielo ligzdu stāvoklis failā “Pielikums2.xlsx”. Lapā “PAM” ir pasīvi akustiskā monitoringa izmēģinājumā iekļauto ligzdu raksturojums, lapā “ModelaKalibracija” ir modeļa kalibrācijas lauka darbos iekļauto ligzdu raksturojums

3. pielikums

Elektroniskais pielikums (Latvijas Universitātes Google Drive) ar sugas izplatības
modeļa rezultātu digitālajiem objektiem

4. pielikums

Vistu vanaga populācijas lieluma monitoringam AS “Latvijas valsts meži”
apsaimniekotajos mežos izstrādātā metodika arhīvā “Pielikums4.zip”

5. pielikums

Simulāciju eksāmens monitoringa rezultātu sagaidāmās precizitātes un noteiktības raksturošanai arhīvā “Pielikums5.zip”, kurā atrodas R komandu rindu fails