



PĀRSKATS
PAR PĒTĪJUMA 2021. GADA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: **Pilotprojekts vides faktoru ietekmes uz meža
putniem izpētei**

IZPILDĪTĀJS: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

PASŪTĪTĀJS: AKCIJU SABIEDRĪBA “LATVIJAS valsts meži”
Līguma Nr. 5-5.9.1_007g_101_21_70

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKĀ VADĪTĀJA:
Dr. Līga Jansone, LVMI Silava pētniece

Salaspils, 2021

Kopsavilkums

1. Dienas meža putnu sugu populāciju un putnu sabiedrību novērtējums LVM apsaimniekotajās mežu teritorijās.

Veiktas plānotās 12 putnu uzskaites (pasūtītāja norādītos trīs uzskaites maršrutos pa četrām uzskaitēm katrā), dati sagatavoti un nodoti pasūtītājam.

2. Piemērotākie modeļi mežsaimniecības ilgtermiņa ietekmes uz dienas meža putnu sugu populāciju telpisko izplatību vērtēšanai.

Ņemot vērā salīdzināto metožu galvenās priekšrocības un ierobežojumus (trūkumus), saimnieciskās darbības (un citu faktoru) ilgtermiņa ietekmes uz meža putnu populācijām vērtēšanai rekomendējams izmantot tikai klātbūtnes (*presence only*) modeļus ar pietiekamu, reprezentatīvu empīrisku datu kopu.

3. Metodikas projekts meža putnu sugu populāciju telpiskās izplatības modeļu izstrādei.

Sagatavots apraksts un metodiskā pieeja turpmākajām analīzēm.

Summary

1. Assessment of forest bird species populations and bird communities in forest areas managed by LVM.

The planned 12 surveys of birds have been performed (three transects, four surveys in each), the data have been prepared and handed over to the customer.

2. The most appropriate models for assessing the spatial distribution of the long-term impact of forestry on the populations of forest bird species.

Given the main advantages and limitations of the methods compared, it is recommended to use presence-only models with a sufficient, representative set of empirical data to assess the long-term effects of economic activities (and other factors) on forest bird populations.

3. Methodological project for the development of spatial distribution models of forest bird species populations.

A description and methodological approach for further analysis have been prepared.

Saturs

| | |
|--|----|
| Kopsavilkums | 2 |
| Summary..... | 2 |
| 1. Dienas meža putnu sugu populāciju un putnu sabiedrību novērtējums LVM apsaimniekotajās mežu teritorijās..... | 4 |
| 2. Piemērotākie modeļi mežsaimniecības ilgtermiņa ietekmes uz dienas meža putnu sugu populāciju telpisko izplatību vērtēšanai. | 7 |
| <i>Izmantoto metožu priekšrocības un trūkumi: kopsavilkums</i> | 18 |
| 3. Metodikas projekts meža putnu sugu populāciju telpiskās izplatības modeļu izstrādei. | 20 |
| Izmantotā literatūra..... | 26 |

1. Dienas meža putnu sugu populāciju un putnu sabiedrību novērtējums LVM apsaimniekotajās mežu teritorijās.

Saskaņā ar plānu veiktas 12 putnu uzskaites (pasūtītāja norādītos trīs uzskaites maršrutos (1.1. Attēls) pa četrām uzskaitēm katrā). Uzskaites dati sagatavoti digitālā formā (.shp failu formātā) un apkopoti kopsavilkuma tabulās (.xls failu formātā) atbilstoši izstrādātajai metodikai un nodoti pasūtītājam, nosūtot uz epastu 13.07.2021.

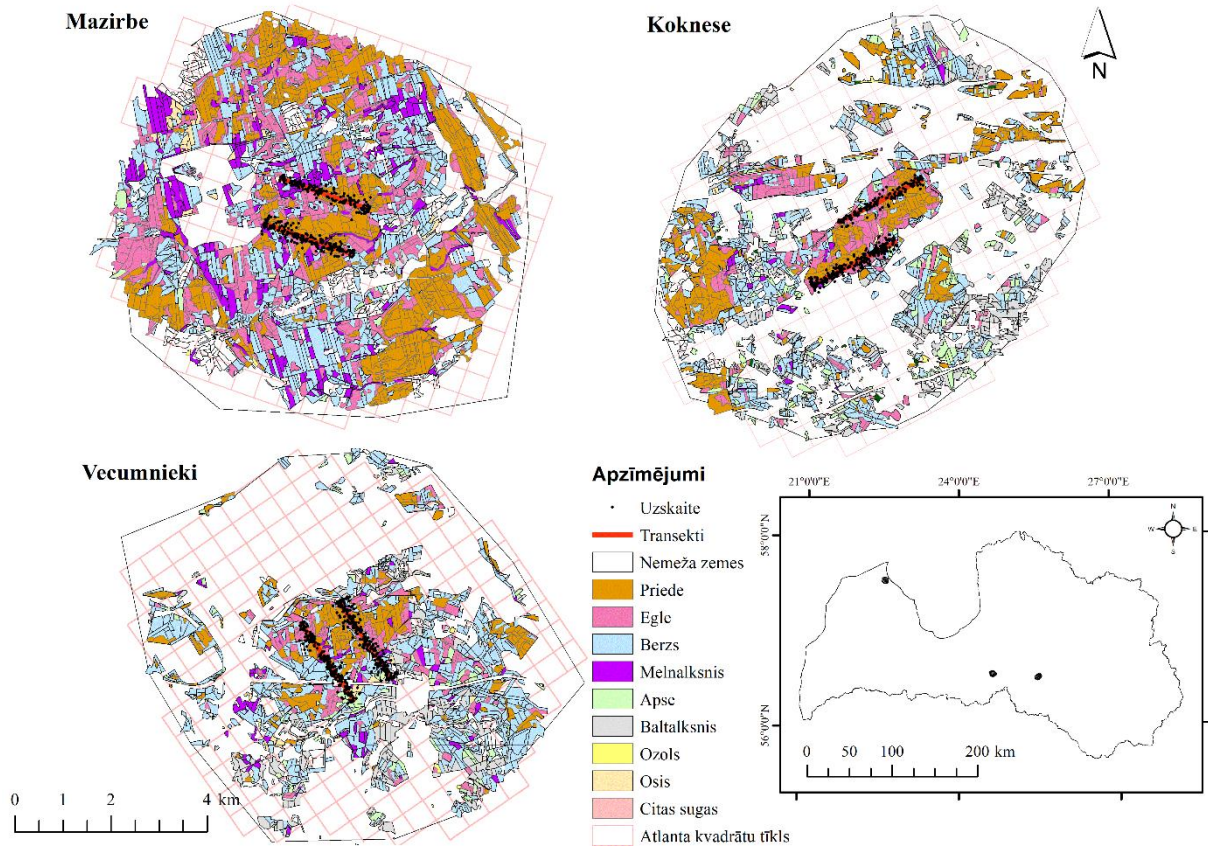
Maršrutiem dotie nosaukumi (Kokneses, Mazirbes, Vecumnieku) ir tikai orientējoši, lai tos vieglāk atšķirtu, nosaukums ne vienmēr atspoguļo tuvāko apdzīvoto vietu maršrutam. Kokneses maršruts izvietots Aizkraukles novadā, Seces pagastā (1.1. att.), salīdzinoši nelielā meža masīvā netālu no Daugavas. 100 m joslā ap transektiem dominē sausieņu meža tipi (1.2. att.), skuju koku audzes (1.3. att.). Mazirbes maršruts atrodas Talsu novadā, Dundagas pagastā, meža masīvā starp Pilsupi un Spārnavalku. Vairāk kā 80% no mežiem 100 m joslā ap transektiem ir āreņi. Dominējošā koku suga audzēs ir priede (ap 50% audzēs), bet egļu, bērzu un melnalkšņu audzes ir pārstāvētas samērā līdzīgi. Vecumnieku maršruts atrodas netālu no Vecumniekiem, starp Taļķes upi un Vīksniņu, maršrutu šķērso dzelzceļa trase. Mežā 100 m joslā ap transektiem dominē sausieņi, bet samērā daudz ir arī āreņi. Šajā maršrutā ir vislielākā audžu dažādība priežu, egļu un bērzu audzes katra aizņem apmēram ceturto daļu no joslas, bet atlikušo ceturtdaļu aizņem dažādu citu sugu audzes (apšu, melnalkšņu, baltalkšņu u.c.), kā arī nemeža zemes un izcirtumi.

Kokneses maršrutā putnu uzskaitē veikta 3. aprīlī, 1. maijā, 16. maijā un 10. jūnijā. Mazirbes maršrutā – 8. aprīlī, 27. aprīlī, 10. maijā un 15. jūnijā, savukārt Vecumnieku maršrutā - 31. martā, 28. aprīlī, 12. maijā un 12. jūnijā. Uzskaites veikšanas datumi izvēlēti, pamatā iekļaujoties metodikā norādītajā laika periodā, tomēr galvenokārt izvērtējot laika apstākļus – kvalitatīvai uzskaites veikšanai izvēlēti bezvēja rīti, kuros nav nokrišņu vai miglas, kā arī periodam netipisks aukstums vai karstums. Šādi laika apstākļi nodrošina maksimāli labu dzirdamību un redzamību, lai pēc iespējas precīzāk fiksētu visas putnu sugas un īpatņus.

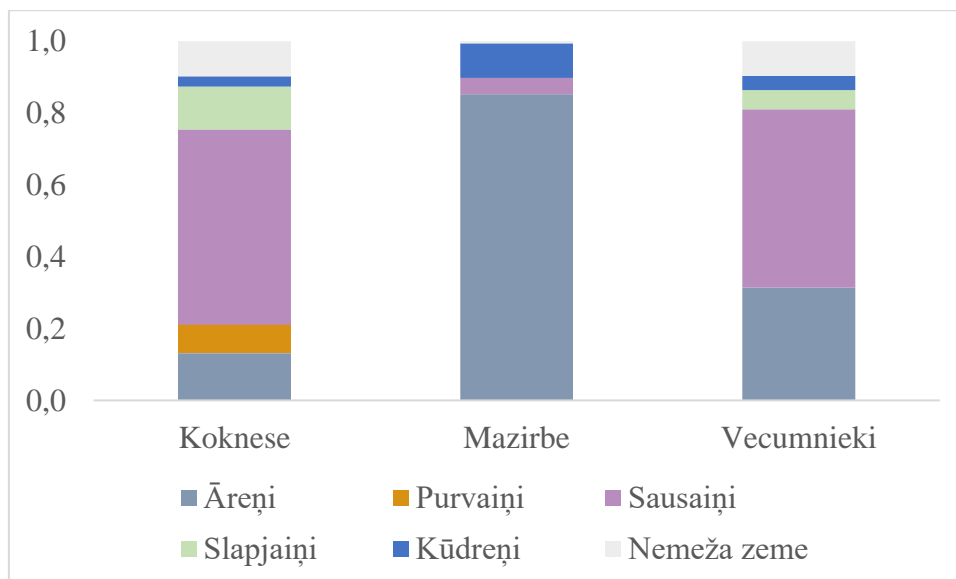
Visos trīs objektos kopā četrās uzskaitēs veikti 1246 putnu novērojumi, novērojot 57 dažādas putnu sugas vai ģintis (gadījumos, kad sugu noteikt nebija iespējams), tostarp 38 gadījumos konstatēti putni ar pazīmi “neligzdojošs” (caurceļojoši putni, augsti pārlidojoši, putni baros u.tml.). Ņemot visus trīs maršrutos kopā, novērojumu skaits katrā uzskaites reizē bija lielāks kā iepriekšējā, no 259 novērojumiem “0.” uzskaitē sasniedzot 416 novērojumus “3.” uzskaitē. Konstatēto sugu skaits visās uzskaitēs ir samērā līdzīgs – 37 sugas “0.” uzskaitē, 35 sugas “1.” uzskaitē, 30 sugas “2.” uzskaitē un 35 sugas “3.” uzskaitē. Visbiežāk visās uzskaitēs ir konstatēta parastā žubīte, kas ir Latvijā visbiežāk sastopamā putnu suga. Vēl ļoti bieži konstatēts paceplītis, lauku balodis, lielā zilīte, zeltgalvītis, čunčiņš, vītītis un svirlītis.

Viena no meža putnu indeksa sarakstā iekļautajām sugām ir svirlītis – bieži sastopams ļauķīšu ģints gājputns, ziemo Āfrikā. Kokneses, Mazirbes un Vecumnieku maršrutos konstatēts attiecīgi 26, 13 un 18 reizes. “0.” uzskaitē (marta beigas/aprīļa sākums) šī suga netika konstatēta, visticamāk, bija pārāk agrs pavasaris un svirlīši vēl nebija atgriezušies no ziemošanas vietām. “1.” uzskaitē šī konstatēta tikai 1 reizi Kokneses maršrutā 1. maijā. Te jāpiemin, ka pārējie abi maršruti tika ieti 3-4 dienas ātrāk. “2.” uzskaitē jau suga konstatēta samērā bieži - Kokneses, Mazirbes un Vecumnieku maršrutos attiecīgi 11, 3 un 6 reizes, bet pēdējā uzskaitē jau novērojumi veikti bieži (14, 10 un 12 reizes) gandrīz visos maršrutu posmos.

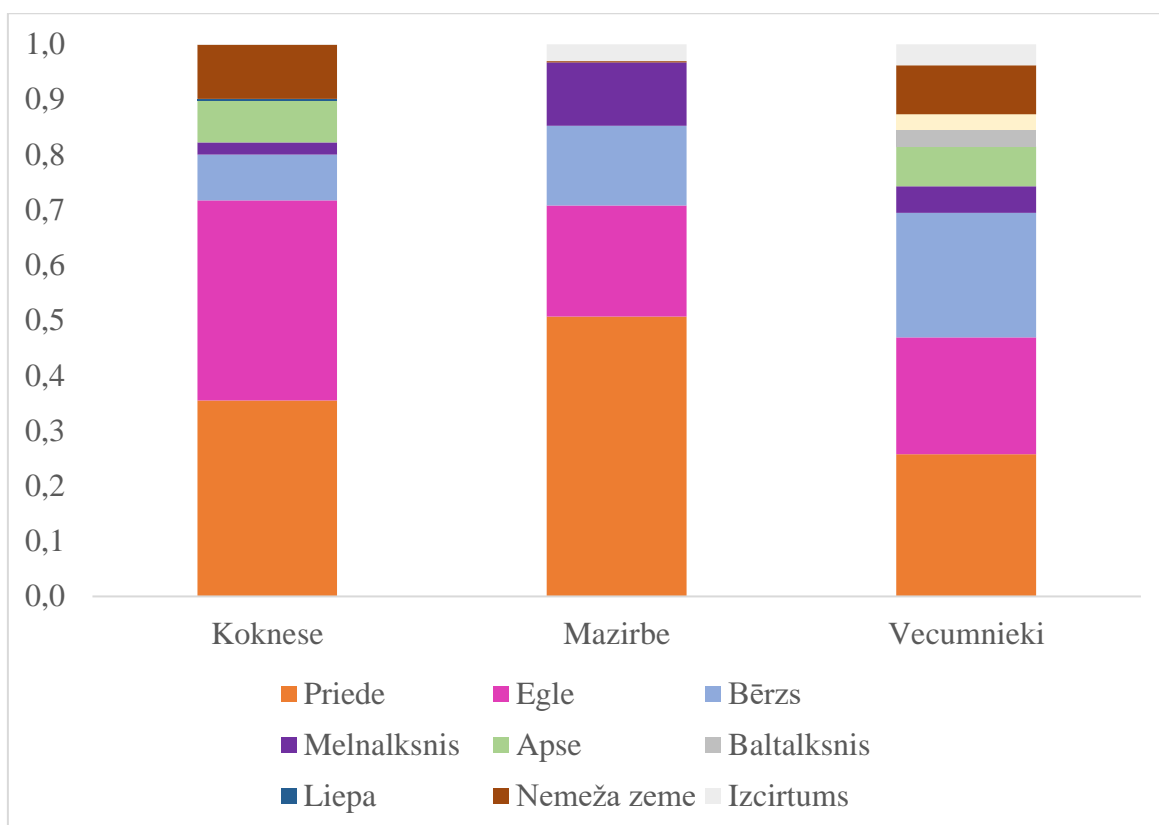
Cita meža putnu indeksa sarakstā iekļauta suga ir zeltgalvītis. Zeltgalvītis Latvijā sastopams visu gadu, tas ir parasts ligzdotājs un ziemotājs. Latvijas mazākais putns. Kokneses, Mazirbes un Vecumnieku maršrutos konstatēts attiecīgi 19, 15 un 20 reizes. Novērojumi vienmērīgāk sadalīti starp uzskaites reizēm, suga visos trīs maršrutos konstatēta visās uzskaites reizēs.



1.1.Attēls. Izvēlēto transektu novietojums Latvijas teritorijā



1.2.Attēls. Audžu relatīvais sadalījums pa meža tiptiem 100 m joslā ap izvēlētajiem transektiem



1.3.Attēls. Audžu relatīvais sadalījums pēc valdošās sugas 100 m joslā ap izvēlētajiem transekciem.

Tabula 1.1. Audžu taksācijas rādītāji un dažādu vides faktoru raksturojums 100 m joslā ap izvēlētajiem transekciem (\pm standartklūda).

| Ainava | Vecums. gadi | Caurmērs. Cm | Augstums. m | Šķērslauku ms m ² ha ⁻¹ | Vidējais egles īpatsvars | Vidējais priedes īpatsvars | Vidējais lapu koku īpatsvars | Vidējā audžu vecuma novirze |
|------------|------------------------|------------------------|------------------------|---|--------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Koknese | 49.5 (± 3.96) | 17.8 (± 1.15) | 16.7 (± 1.06) | 15.0 (± 1.15) | 0.80 (± 0.13) | 0.69 (± 0.08) | 0.40 (± 0.08) | 33.7 (± 3.54) |
| Mazirbe | 53.0 (± 4.37) | 16.8 (± 1.14) | 14.2 (± 0.93) | 12.6 (± 1.03) | 0.45 (± 0.10) | 0.59 (± 0.08) | 0.52 (± 0.08) | 33.1 (± 4.53) |
| Vecumnieki | 46.4 (± 2.98) | 19.6 (± 1.12) | 18.8 (± 0.99) | 13.5 (± 0.89) | 0.86 (± 0.08) | 0.46 (± 0.11) | 0.77 (± 0.11) | 26.8 (± 3.57) |

2. Piemērotākie modeļi mežsaimniecības ilgtermiņa ietekmes uz dienas meža putnu sugu populāciju telpisko izplatību vērtēšanai.

Vispārējā pieeja

Neatkarīgi no izmantotās novērtēšanas metodes, ir gandrīz neiespējami uzskaitīt katru atbilstošās sugas īpatni. Tādēļ, lai noteiktu sugu faktisko izplatību, cita pieeja ir paredzēt sugu izplatību, identificējot sugai (sugām) piemērotu dzīvotņu galvenās vides pazīmes. Pēc tam izmantojot modeļus, kuros iekļauta gan informācija par zināmajiem sugas (sugu) sastopamības gadījumiem, gan arī dažādām to zināmo dzīvotņu vides īpašībām, veic potenciālo dzīvotņu novērtējumu vietās, kur trūkst datu par sugu sastopamību. Dažos gadījumos šie modeļi tiek papildināti ar informāciju par vietām, kur noteikti nav sastopama attiecīgā suga (sugas) (*absence*). Sugu sastopamības un prombūtnes gadījumu datu kombinācija var radīt vēl spēcīgākus prognozējošus modeļus.

Sugu izplatības modeļi (*Species distribution models* SDM) novērtē saistību starp novērotiem, in-situ sugu gadījumiem un šo vietu vides un/vai telpiskajiem raksturlielumiem. SDM kā piemērotu biotopu prognozētājus izmanto rastra slāņus, piemēram, zemes izmantojumu/zemes segumu, augstumu virs jūras līmeņa, nokrišņus, temperatūru un veģetācijas indeksus; pēc tam šo informāciju apvieno ar lauku pētījumos iegūtiem datiem par klātbūtni uz zemes, lai noteiktu, vai un kādā pakāpē dzīvotne ir piemērota konkrētai sugai.

Lai izveidotu prognozētās sastopamības karti, nepieciešamas sekojošas komponentes:

1. sugas sastopamības lauku dati,
2. vidi raksturojošo rādītāju dati,
3. modelēšanas rīks (modelis).

Sugu sastopamības lauku dati

Latvijā ligzdo 103 putnu sugas, kurām vismaz daļai populācijas ligzdošanas sezonas laikā nepieciešams mežs (turpmāk tekstā – meža sugas) (LOB,2002).

Meža putnu sugu sastopamība tiek novērtēta sekojošu monitoringu ietvaros:

1. ligzdojošo putnu monitorings,
2. ligzdojošo putnu atlants,
3. latvijas ligzdojošo plēsīgo putnu monitorings,
4. akciju sabiedrības "Latvijas valsts meži" (LVM) putnu monitorings.

Ligzdojošo putnu monitorings

Informācija par Latvijā ligzdošajiem putniem tiek iegūta Latvijas ligzdojošo putnu monitoringa ietvaros, kurā putnu uzskaites tiek veiktas iepriekš noteiktos, nemainīgos uzskaišu maršrutos (Auniņš, 2018). Katrs maršruts sastāv no diviem 2 km gariem un savstarpēji paralēliem transektiem, tādejādi maršruta kopējais garums ir 4 km. Attālums starp transektiem ir 1 km. Putnu uzskaites ir jāveic četras reizes sezonā: „nulltā” uzskaitē laikā no 20. marta līdz 1. aprīlim, pirmā – no 20. līdz 30. aprīlim, otrā – no 10. līdz 20. maijam, bet trešā – no 5. līdz 15. jūnijam. Katrs maršruts (transekts) ir sadalīts 8 posmos tā, lai katra posma garums būtu 500 metri. Putnu reģistrācija tiek veikta trīs maršrutam paralēlās joslās:

1. josla: 0 – 25 m no transekta (uz abām pusēm, kopā 50 m platā zonā);
2. josla: 25 – 100 m no transekta (uz abām pusēm no 1. joslas);
3. josla: vairāk nekā 100 m no transekta (uz abām pusēm no 2. joslas) (Auniņš, 2018).

Ligzdojošo putnu atlants

Latvijas ornitoloģijas biedrība organizē Trešā Latvijas ligzdojošo putnu atlanta (LLPA3) (2020.–2024.g.) izveidi (LOB,2020), kura mērķis ir katrā 5x5 km kvadrātā konstatēt pēc iespējas visas tur ligzdojošās putnu sugas. Katrai konstatētajai sugai (izņemot par 74 sugām) ir nepieciešams norādīt papildziņas: precīza novērošanas vieta (x, y koordināta, jeb punkts kartē), novēroto putnu skaits un precīzs datums.

LLPA3 veidošanas ietvaros tiek organizētas arī t.s. Atlanta 1km maršrutu uzskaites. LLPA3 uzskaišu metodika atbilst ligzdojošo putnu uzskaišu metodikai. Skaitīšanu veic trīs joslās, ligzdojošos putnus interpretē pāros un uzskaites anketu aizpilda par katru posmu (piezīme: LLPA3 maršrutā ir tikai divi 500 m gari posmi atšķirībā no ligzdojošo putnu monitoringa, kurā ir 8 posmi (skat. augstāk)). Uzskaiti var veikt jebkurā datumā ligzdošanas sezonas laikā. Gan ligzdojošo putnu monitorings, gan Atlanta 1km maršruta uzskaites nodrošina nepieciešamo informāciju putnu populācijas lielumu noskaidrošanai.

Monitoringa metodikas aprakstā netika atrasts, kā populācijas lieluma novērtējumā ņemta vērā dažādās joslās reģistrēto putnu konstatēšanas varbūtība.

Latvijas ligzdojošo plēsīgo putnu monitorings

Latvijas ligzdojošo plēsīgo putnu monitorings ir uzsākts 2014. gadā un aptver gan dienas, gan nakts plēsīgos putnus (Reihmanis, Avotiņš, 2020). Programmas mērķis ir iegūt datus par plēsīgo putnu sugu ligzdojošo populāciju lieluma un izplatības izmaiņu skaitliskās vērtībām, kas reprezentatīvi atspoguļo situāciju valsts teritorijā. Monitorings tiek veikts nejausi izvēlētos pastāvīgos 5 km × 5 km parauglaukumos uzskaišu veicējiem ērti pieejamā teritorijā. Šajos parauglaukumos ir veicamas standartizētas uzskaites, papildus tam ir vēlams noskaidrot kopējo vietējās populācijas lielumu un iegūt demogrāfijas ziņas. Iegūtie dati katru gadu tiek apkopoti un analizēti gadu indeksu ieguvei un populāciju kopējo pārmaiņu noskaidrošanai (Reihmanis, Avotiņš, 2020).

Uzskaišu dati no standartizētajiem punktiem ir nozīmīgi sugu populāciju izmaiņu aprēķināšanai. Tie ir lietojami populācijas lieluma noskaidrošanā, tomēr sniedz ierobežotu informāciju par valstī raksturīgajiem sugu sastopamības blīvumiem (Reihmanis, Avotiņš, 2021).

Gadījumos, kad parauglaukums ir pietiekoši apsekots, lai konstatētu visas tajā sastopamās sugu ligzdošanas teritorijas vai arī droši apgalvotu, ka konkrētā suga teritorijā nav sastopama kā ligzdotāja, šie parauglaukumi, ir izmantojams populācijas pārmaiņu rādītāja aprēķināšanā. Teorētiski, ja blīvuma ziņas ir vienmēr vienādi iegūtas un objektīvi interpretētas ligzdošanas ziņās, šis rādītājs ir precīzāks par standartpunktu rezultātu, tomēr tas ir daudzkārt (apmēram piecas-desmit reizes) laikietilpīgāks izejas datu ieguves ziņā (Reihmanis, Avotiņš, 2021).

Ligzdošanas iecirkņu skaita un pārmaiņu rādītāji kopumā sniedz tādu pašu informāciju kā standartizēto uzskaites punktu analīze. Tomēr tie nesniedz atbildes uz iemesliem, kura ekoloģiskās sistēmas sastāvdaļa ir iemesls populācijas pārmaiņām. Lai to noskaidrotu, ir nepieciešams speciālais monitorings, kura ietvaros tiek apzinātas ligzdošanas sekmes, biotopu pārmaiņas un barības pieejamība (vēlams arī izdzīvotība, imigrācija un emigrācija), lai vienotā sistēmā to analizējot, skaidrotu pārmaiņu iemeslus. Šī monitoringa programma ir fona monitoringa sastāvdaļa, tomēr tās ietvaros tiek iegūta daļa no minētajām ziņām – ligzdošanas sekmes (Reihmanis, Avotiņš, 2021).

LVM veiktais putnu monitorings¹

LVM veic sekojošu putnu monitoringu:

- mazais ērglis;
- klinšu ērglis, zivjērglis, jūras ērglis, vistu vanags;
- melnais stārķis;
- mednis.

Mazais ērglis – ligzdošanas blīvuma un ligzdošanas sekmju noteikšana piecos parauglaukumos (parauglaukumi ietver dažādu īpašnieku lauksaimniecībā izmantojamās, meža un citas zemes).

Klinšu ērglis, zivjērglis, jūras ērglis, vistu vanags – apdzīvoto ligzdu skaita (klātesošo pāru) un ligzdošanas sekmju noteikšana, pārbaudot zināmās dabiskās un mākslīgās ligzdas visā valsts (klinšu, zivju ērgļi) un LVM (jūras ērglis, vistu vanags) teritorijā.

Melnais stārķis – apdzīvoto ligzdu skaita un ligzdošanas sekmju noteikšana, pārbaudot visas zināmās dabiskās un mākslīgās ligzdas LVM teritorijā.

Mednis – klātesošo putnu/to darbības pēdu un ligzdošanas sekmju noteikšana monitoringa maršrutos.

Latvijas ornitoloģijas biedrība, organizējot meža putnu monitoringu, izmanto 2 sarakstus²:

LFoBI-2007 – EBCC Paneiropas putnu monitoringa programmas Boreālā reģiona meža putnu indekss Latvijai; iekļautās sugas: vistu vanags, zvirbuļvanags, mežirbe, pelēkā dzilna, melnā dzilna, vidējais dzenis, mazais dzenis, baltmugurdzenis, sila strazds, svirlītis, zeltgalvītis, mazais mušķērājs, melnais mušķērājs, garastūte, purva zīlīte, pelēkā zīlīte, cekulzīlīte, meža zīlīte, mizložņa, riekstrozis, egļu krustknābis, svilpis, dižknābis.

LFoBI-2015 – EBCC Paneiropas putnu monitoringa programmas Boreālā reģiona meža putnu indekss Latvijai; iekļautās sugas: vistu vanags, zvirbuļvanags, mežirbe, pelēkā dzilna, melnā dzilna, trīspirkstu dzenis, mazais dzenis, baltmugurdzenis, sila strazds, svirlītis, zeltgalvītis, mazais mušķērājs, melnais mušķērājs, garastūte, purva zīlīte, pelēkā zīlīte, cekulzīlīte, meža zīlīte, mizložņa, riekstrozis, egļu krustknābis, svilpis, dižknābis.

Atšķirība starp abiem sarakstiem tā, ka pirmajā ir iekļauts vidējais dzenis, bet otrajā – tā vietā, trīspirkstu dzenis.

¹ [lvm vides parskats 2020-2.pdf](#)

² [download \(daba.gov.lv\)](#)

Starptautiski atzītu dienas meža putnu sugu populāciju telpiskās izplatības modelēšanas risinājumu novērtējums

Sugu izplatības modeļi (*species distribution models (SDM)*), kuri balstīti uz nišu teoriju, tiek uzskatīti par nozīmīgu rīku sugu dzīvotņu piemērotības (*habitat suitability*) un potenciālās ģeogrāfiskās izplatības novērtēšanā (Evans et al., 2010). Teorētiski, veidojot modeļi, būtu jāņem vērā 3 aspekti:

- i) sugai ir jāasniedz teritorija (vieta), t.i., tai jāvar piekļūt reģionam un izplatīties tur;
- ii) abiotiskajiem vides apstākļiem jābūt ekofizioloģiski piemērotiem sugai;
- iii) biotiskajai videi (mijiedarbībai) jābūt piemērotai sugai.

Lai izvairītos no pārāk "uzstādītiem" (*over-fitted*) modeļiem, pamatlíkums ir, ka jābūt pieejamiem vismaz desmit klātbūtnes novērojumiem katram izmantotajam vides rādītājam. Tāpat tiek ieteikts, ka minimālais klātbūtnes punktu skaits katrai sugai, atkarībā no būvējamā modeļa sarežģītības, ir starp 20 un 50 novērojumiem.

Ir jānošķir divi jautājumi: 1) kurai tematiskajai izšķirtspējai (*resolution*) ir nozīme no ekoloģiskā viedokļa; un 2) kurai tematiskajai izšķirtspējai ir nozīme no statistikas viedokļa?

Tematiski bieži kāda parametra klasifikācijā ir daudz klašu. To izmantošanai biotopu piemērotības modelēšanā ir vairāk trūkumu nekā priekšrocības, jo var nebūt pietiekamu novērojumu par klātbūtni un prombūtni katrai no šīm klasēm. Tādēļ tiek ieteikts pārklasificēt visus klases / slāņus, kuriem ir līdzīgas ekoloģiskās īpašības. Tas attiecināms ne tikai uz kategoriskām (nominālām) klasēm, bet arī uz klasēm, kuras balstītas intervālu vai attiecību skalās. No aprēķinu ātruma un faila lieluma viedokļa, rastra slāņus ieteicams pārveidot veselos skaitļos (*integer*).

Katra nominālklase izmanto vienu brīvības pakāpi regresijas modelī, tādēļ daudz nominālklašu izmantošana izraisa lielu brīvības pakāpju zaudēšanu.

Algoritmu tipi un izmantotie dati

Praksē ekoloģiskos modeļus var iedalīt trīs galvenajos veidos: aprakstošie, izskaidrojošie un prognozējošie modeļi.

Aprakstošas pieejas (*descriptive approach*) mērķis ir izpētīt saikni starp atbildes mainīgo lielumu (piemēram, sugu sastopamība) un citiem potenciāli paskaidrojošiem mainīgiem lielumiem, kuru var būt daudz, lai izvēlētos, piemēram, tikai viena nozīmīgo apakškopu. Parasti šāda veida izpētei izmanto daudzfaktoru statistiskās analīzes.

Izskaidrojošajā (vai hipotētiski-deduktīvā) pieejā tiek izmantotas esošas (a priori) zināšanas par sistēmu, lai iegūtu pārbaudāmu hipotēžu kopumu, kas var to apstiprināt vai noraidīt, aprēķinot modeļa parametrus.

Prognozējošās pieejas modelēšanas mērķis varētu būt telpiskā prognozēšana, nevis interpretācija. Būtībā tas cenšas optimizēt novērtētāju (*estimator*) un prognozētāju (*predictor*) kvalitāti, lai, piemēram, samazinātu kļūdu summu vai palielinātu telpisko precizitātes statistiku.

Sugu izplatības modelēšanā ir izmantoti virkne dažādu metožu algoritmi. Sugu izplatības modelēšanā tos var klasificēt atkarībā no tā, vai tiek izmantoti tikai klātbūtnes dati (*presence*) vai arī klātbūtnes/ prombūtnes (*presence/ absence*) dati. Cits iedalījums ir "profila", "regresijas" un "mašīnmācīšanās" metodes³. Profila metodēs tiek aplūkoti tikai "klātbūtnes" dati, nevis prombūtnes vai fona dati. Regresijas un mašīnmācīšanās metodēs tiek izmantoti gan klātbūtnes, gan prombūtnes vai fona dati. Cits veids kā klasificēt modeļus ir (Guisan et al., 2017):

³ [Species distribution modeling — R Spatial](#)

- 1) Aploksnes un distances – atkarīgās pieejas (*Envelope and distance-based approaches*);
- 2) Regresijās balstīta pieeja (*Regression-Based Approaches*);
- 3) Klasifikācijas pieejas un mašīnmācīšanās sistēmas (*Classification Approaches and Machine-Learning Systems*);
- 4) Veicināšanas un nejaušas agregācijas pieeja (*Boosting and Bagging Approaches*);
- 5) Maksimālās entropijas pieeja (*Maximum Entropy*);
- 6) Modelēšanas kopas un vidējošana (*Ensemble Modeling and Model Averaging*).

Profila metodes (Aploksnes un distances - atkarīgās metodes)

Ir divu veidu aplokšņu pieejas – ģeogrāfiskā un vides. Ģeogrāfiskās aploksnes ir modeļi, kas koncentrējas uz ģeogrāfisko sugas vai populācijas izplatību. Tie parasti definē "apjomu sugas sastopamībā" kā teritoriju, kas atrodas visīsākajās nepārtrauktās ģeogrāfiskajās robežās (piemēram, *convex hull*). Vides aploksnes ir daudz sarežģītākas, jo to pamatā ir sugu izplatības potenciālie vides virzītājspēki. Uz attālumu balstītas pieejas (distances atkarīgās) ir uzlabotas alternatīvas vienkāršām aplokšņu pieejām. Diskriminācija parasti ir balstīti uz attālumu starp pētījuma apgabala vides parametru centroīdu un sugai atbilstošo vides parametru centroīdu. Tiek piedāvātas dažādas pieejas, piemēram, tādās, kuru pamatā ir galveno komponentu analīze (PCA-sp), Mahalanobis distance, ekoloģisko nišu faktoru analīze (*ecological niche factor analysis* (ENFA)).

Bioclim

BIOCLIM algoritms ir plaši izmantots sugu izplatības modelēšanai. BIOCLIM ir klasisks "klimata aploksnes modelis" (Booth et al., 2014). BIOCLIM definē sugas ekoloģisko nišu kā n-dimensiju ierobežojošo "kasti" (hipertelpu) (t. i., minimālā taisnas līnijas aploksne) kas ietver visus ierakstus par sugu iepriekš atlasītu mainīgo n-dimensiju vides telpā.

Lai gan kopumā tas nedarbojas tik labi kā dažas citas modelēšanas metodes (Elith et al. 2006), jo īpaši saistībā ar klimata pārmaiņām (Hijmans and Graham, 2006), to joprojām izmanto, cita starpā tāpēc, ka algoritms ir viegli saprotams un tādējādi noderīgs sugu izplatības modelēšanas mācīšanās.

BIOCLIM algoritms aprēķina atrašanās vietas līdzību, salīdzinot vides mainīgo lielumu vērtības jebkurā vietā ar vērtību procentu sadalījumu zināmajās notikuma vietās ("mācību vietās"). Jo tuvāk 50. procentilei (mediānai), jo piemērotāka ir atrašanās vieta. Sadalījuma astes netiek atšķirtas, tas ir, 10. procentile tiek uzskatīta par līdzvērtīgu 90. procentilei. Kā `biomod2`, tā arī `dismo` paketes piedāvā elastīgu funkciju – sugu areāla aploksni (SRE) –, kas būtībā atveido sākotnējo BIOCLIM ar iespēju pielietot dažādas procentiles, lai noteiktu piemēroto reģionu.

Domain

Domēna (*Domain*) algoritms (Carpenter et al. 1993) ir plaši izmantots sugu izplatības modelēšanai. Domain ir distances balstīts modelis, kas novērtē jaunas vietas pēc to vides līdzības vietām ar zināmu sugu klātbūtni. *Domain* algoritms aprēķina Gower attālumu starp vides mainīgajiem lielumiem jebkurā vietā un tiem, kas atrodas jebkurā no zināmajām klātbūtnes vietām ("mācību vietās").

Mahalanobis distance

Mahala funkcija īsteno sugu izplatības modeli, pamatojoties uz Mahalanobis attālumu (Mahalanobis, 1936). Mahalanobis attālums ņem vērā datu kopas mainīgo lielumu korelācijas, un tas nav atkarīgs no mērījumu skalas.

Ekoloģiskās nišas faktoru analīze EFNA

Aprēķina biotopu piemērotības mēru pamatojoties uz marginalitātes analīzi (cik lielā mērā sugas vidējā vides/dzīvotnes telpa atšķiras no globālās vides vidējā visā pētījuma platībā (fons) un vides toleranci (cik lielā mērā sugas dispersija vides telpā atšķiras no globālās vides dispersijas)). Tā kā ENFA ņem vērā fonu, tā nav klātbūtnes metode vārda tiešā nozīmē, bet gan klātbūtne - fona datu pieeja. Konkrētāk, ENFA veic faktoru analīzi ar ortogonālo rotāciju, lai: i) pārveidotu neatkarīgo mainīgos lielumus nesaistīto faktoru kopumā (kā galveno komponentu analīzē) un ii) konstruētu asis tādā veidā, kas veido visu sugas marginalitāti uz pirmo asi un pēc tam samazina sugu ekoloģisko toleranci visās pārējās asīs. ENFA ir pilnībā ieviesta pakotnē `BIOMAPPER`⁴.

Klasiskie regresijas modeļi

Regresija saista atbildes mainīgo lielumu (piemēram, klātbūtni– prombūtni, daudzumu (*abundance*), biomasu) ar iepriekš atlasītu vides parametru kopumu (piemēram, klimats, zemes izmantošana, resursi).

Neatkarīgos mainīgos var izmantot kā nepārveidotus vides mainīgos lielumus vai, lai novērstu multikolinearitāti, kā ortogonālus komponentus, kas iegūti no vides mainīgajiem lielumiem, izmantojot daudzfaktoru analīzi.

Loģistiskā regresija

Loģistiskā regresija ir klasiska pieeja, lai analizētu klātbūtnes-prombūtnes datus (un tā lielā mērā tiek lietota vispārinātās lineārās modelēšanas GLM ietvaros). Ja ir liela datu kopa ar klātbūtnes/prombūtnes datiem no labi dizainēts apsekojums, tad būtu lietojama šī metode, nevis modelēšanas metodes, kas tikai pieļauj klātbūtnes datus. Ja ir tikai klātbūtnes dati, tad arī var izmantot šo metodi, prombūtnes datus aizstājot ar fona (*background*) datiem. Fona dati (piem., Phillips et al. 2009) nav mēģinājums uzminēt prombūtnes atrašanās vietas, bet drīzāk raksturot pētījuma reģiona vidi. Fona dati apraksta vides apstākļus pētniecības teritorijā, tai pat laikā klātbūtnes dati norāda uz vides apstākļiem, kādos atbilstošā suga vidēji visticamāk ir sastopama. Līdzīgs, bet nedaudz atšķirīgs jēdziens ir “pseido-prombūtne”. Šo rādītāju arī izmanto, lai ģenerētu ne-klātbūtnes klasi loģistiskajiem modeļiem. Šajā gadījumā, pētnieki mēģina minēt vietas, kur varētu būt prombūtne – t.i., tiek ierīkoti parauglaukumi reģionā vietās, kurās nav konstatēta klātbūtne, vai arī vietās, kuras pēc pieredzes nav piemērotas sugai. Ieteicams izmantot fona koncepciju, jo tam ir mazāk pieņēmumu un ir atbilstošas statistiskās metodes, lai izvērtētu “pārklāšanos” starp klātbūtnes un fona punktiem.

Vispārināts lineārs modelis Generalized Linear Models (GLM)

Modeļiem jāatbilst klātbūtnes un neesamības (fona) datiem.

Klasiskā parastā mazāko kvadrātu (OLS) lineārās regresijas pieeja (bieži vien vienkārši sauc par lineāro modeli, LM) teorētiski ir derīga tikai tad, ja atbildes reakcijas mainīgais ir normāli sadalīts (t. i., Gausa sadalījums) un dispersija nemainās kā vidējā funkcija (t.i., ir homoscedasticitāte). Vispārināts lineārs modelis (GLM) ir parastās mazāko kvadrātu regresijas vispārinājums. Modeļi ir piemēroti, izmantojot maksimālo varbūtību (*maximum likelihood*) un ļauj lineārajam modelim būt saistītam ar atbildes reakcijas mainīgo lielumu, izmantojot sasaistes funkciju (*link function*) un ļaujot katra mērījuma dispersijas lielumam būt tā prognozētās vērtības funkcijai. Atkarībā no tā, kā ir norādīts GLM, tas var būt līdzvērtīgs (daudzkārtējai) lineārai regresijai, loģistiskai regresijai vai Puasona regresijai. Pārskats par GLM izmantošanu sugu izplatības modelēšanā aprakstīts Guisan et al. (2002).

Vispārinātie lineārie modeļi (GLM) ļauj analizēt datus gadījumos, kad kļūdu sadalījums neatbilst normālajam sadalījumam (klātbūtnes - prombūtnes un skaitīšanas dati) un modelēt

⁴ <https://www2.unil.ch/biomapper/>

nelineāras attiecības. Tomēr būtiski ir veikt vienu no multikolinearitātes novērtējuma testiem, piem., VIF testu ($VIF < 10$). R programmā Modeļi `glm1` un `glm2` galvenokārt atšķiras pēc hipotēzēm, ko izmanto attiecībā uz attiecību formu starp visiem mainīgajiem lielumiem un sugas klātbūtni. `glm1` gadījumā pieņem, ka sakarību aprakstam pietiek ar lineāriem prognozētājiem, `glm2` sagaida kvadrātiskās attiecības (t.i., nesimetriskas, vienmodālas vai sigmoidālas attiecības).

Sugu daudzveidība atbilst Puasona sadalījumam un izmantojama *log* vai *square root* saite, binominālajam sadalījumam atbilst klātbūtnes-prombūtnes dati un izmantojama *logit* vai *probit* saite, savukārt gamma sadalījumam atbilst sugu daudzuma sadalījums – izmantojama *log* vai *inverse link* saite (Guisan et al., 2017).

Vispārinātais aditīvais modelis Generalized Additive Models (GAM)

Modeļiem jāatbilst klātbūtnes un neesamības (fona) datiem.

Vispārinātie aditīvie modeļi (GAM) (Zuur et al., 2009) ir GLM paplašinājums. GAM ir noderīgs, ja paredzams, ka attiecībai starp mainīgajiem lielumiem būs sarežģītāka forma, kas nav viegli aproksimējama ar prognozētāju standarta parametru funkcijām (piemēram, GLM ar lineāru vai kvadrātisku atbildes reakciju) vai, ja nav *a priori* iemesla izmantot konkrētu formu. GAM modeļos lineārais parametrs (*predictor*) ir izlīdzināšanas funkciju summa. Tas padara GAM ļoti elastīgus, un tie var būt piemēroti ļoti sarežģītām funkcijām. R gadījumā GAM tiek iekļautas `mgcv`, `gam`, `gamair`, `GAMBoost` paketē.

BRUTO nodrošina ātru metodi kā identificēt gan mainīgos, kurus iekļaut GAM modelī, gan arī kādu izlīdzināšanas pakāpi (degree of smoozing) būtu jāizmanto).

Arī vispārināti aditīvie modeļi ļauj analizēt datus gadījumos, kad kļūdu sadalījums neatbilst normālajam sadalījumam (klātbūtnes - prombūtne un skaitīšanas dati) un modelēt nelineāras attiecības.

Daudzfaktoru adaptīvās regresijas līknes (Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS))

Tāpat kā GAM, arī daudzfaktoru adaptīvās regresijas līknes (MARS) ir elastīgāka regresijas tehnika nekā GLM, jo tām arī nav nepieciešami jebkādi pieņēmumi par pamatā esošajām funkcionālajām attiecībām starp sugām un vides mainīgajiem lielumiem. Tā vietā, lai izmantotu iepriekš definētas formas, piemēram, polinoma funkcijas GLM, MARS veido funkcijas pa daļām, kas kopā var aprakstīt nelineāras atbildes reakcijas. MARS ir realizēts `earth` pakotnē.

Klasifikācijas pieejas un mašīnmācīšanās metodes

Klasifikācijas pieejas, rekursīvā sadalīšana un pat dažas no mašīnmācīšanās pieejām balstās uz koncepciju klasificēt novērojumus viendabīgās grupās (divās vai vairākās). Senākā no tām ir klāsteranalīze, kas pieder pie nevadīto klasifikāciju metodēm. Savukārt vadītās klasifikācijas ietver tādas metodes kā diskriminantu analīzi (*discriminant analysis*), rekursīvo dalīšanu (*recursive partitioning*), mākslīgo neironu tīklus (ANN), *Support Vector Machines*.

Citas mašīnmācīšanās metodes ietver *random forests*, *Boosted Regression Trees* un *Maxent*.

Rekursīvā dalīšana (recursive partitioning (RP))

Šī metode konceptuāli tiek uzskatīta kā klasifikācijas pieeja. Tā sākotnēji tika ieviesta kā “klasifikācijas un regresijas koks” (CART). CART dod rezultātus, kuri ir viegli interpretējami, bet pieeja bieži cieš no augstas dispersijas. CART rezultāti var ievērojami atšķirties pat tad, ja tiek lietotas tikai nedaudz atšķirīgas datu kopas. RP pieejas ir paredzētas, lai izskaidrotu variācijas par vienu reakcijas mainīgo lielumu (piemēram, sugu klātbūtne–prombūtne, biomasa, daudzums) ar vienu vai vairākiem neatkarīgajiem mainīgajiem. Atkarīgais mainīgais var būt

diskrēts lielums (klasifikācijas koks) vai nepārtraukts (regresijas koks), savukārt neatkarīgie mainīgie var būt dažāda tipa. Viena no RP priekšrocībām ir tā, ka šī metode nav balstīta uz nekādiem pieņēmumiem par attiecībām starp atkarīgajiem mainīgajiem vai atbilstību kādam specifiskam sadalījumam veidam (kā GAM modeļos). RM ir ieviesti R paketnēs `rpart`, `party`, `REEMtree`.

Boosted Regression Trees

"Palielinātie regresijas koki" (BRT) ir pazīstami ar daudziem dažādiem nosaukumiem. Metodi izstrādāja Friedman (2001), kurš to sauca par "Gradient Boosting Machine" (GBM). Tas ir pazīstams arī kā "Gradient Boost", "Stochastic Gradient Boosting", "Gradient Tree Boosting". "Palielinātie regresijas koki" apvieno divu algoritmu stiprās puses: regresijas koki (modeļi, kas saista reakciju uz to prognozētājiem ar rekursīviem bināriem šķēļumiem) un palielināšana (adaptīvā metode daudzu vienkāršu modeļu apvienošanai, lai nodrošinātu uzlabotu prognozēšanas veiktspēju).

Oriģinālajā metodikā optimizācijā var tikt izmantoti vairāki algoritmi – Gradient_boost, LS_Boost, LAD_TreeBoost, MTree_Boost, LK TreeBoost, LK TreeBoost. Lai arī katram no algoritmiem ir savas priekšrocības, tomēr visuniversālākais ir Mtree_Boost algoritms, kurš ir vistabilākais (Friedman 2001).

Metode tiek ieviesta R programmas `gbm` paketnē. Elith et al. (2009) rakstā ir aprakstīta BRT izmantošana sugu izplatības modelēšanas kontekstā. Viņu rakstam ir pievienotas vairākas R funkcijas un apmācība, kas ir nedaudz pielāgota un iekļauta `dismo` paketē. Šīs funkcijas paplašina `gbm` paketes funkcijas ar mērķi atvieglot to piemērošanu ekoloģiskajiem datiem un uzlabot interpretāciju. Analītiski BRT regularizācija ietver kopīgu koku skaita (nt), mācīšanās ātruma (lr) un koku sarežģītības (tc) optimizāciju. Izmantojot BRT, lai izvairītos no pārparametrizēšanas (over-fitting) tiek izmantota šķērs-validācija, pārbaudot prognozēšanas pareizību (accuracy) ar daļu no datiem.

Random Forest

Random Forest (Breiman, 2001) metode ir klasifikācijas un regresijas koku (CART; Breiman et al., 1984) paplašinājums. *Random forests* ir koku neatkarīgo mainīgo (*predictors*) kombinācija tādā veidā, ka katrs koks ir atkarīgs no nejaušo (*random*) vektoru vērtībām, kuras ir paraugotas neatkarīgi un ar tādu pašu sadalījumu visiem "kokiem mežā". RF nav raksturīga tāda pārparametrizēšana (*over-fitting*) kā standarta CART. RF svarīgākos neatkarīgos mainīgos attiecīgajā modelī aprēķina randomizējot pēc kārtas katru neatkarīgo mainīgo pa vienam un tad aprēķinot modeļu prognozes izmaiņas. Tā kā RF regresijas prognozes ir nepārtrauktas vērtības starp 0 un 1, lai varētu pārveidot klātbūtnes - prombūtnes datus, nepieciešams noteikt sliekšni (*threshold*).

R gadījumā to īsteno funkcijā `randomForest` paketnē ar tādu pašu nosaukumu. Ja atbildes reakcijas mainīgais ir kvalitatīvs faktors (kategorija), RandomForest veiks klasifikāciju, pretējā gadījumā tas veiks regresiju. rf1 veic regresiju, rf2 un rf3 veic klasifikāciju (tie ir tieši tie paši modeļi). Modeļa veidošanas procedūras optimizēšanai izmantojama funkcija tuneRF.

Atbalsta vektoru mašīna (Support Vector Machines)

Atbalsta vektoru mašīnas (SVM; Vapnik, 1998) piemēro vienkāršu lineāru metodi datiem, bet augstas dimensijas funkciju telpā, kas nav lineāri saistīta ar ievades telpu, bet praksē tā neietver nekādus aprēķinus šajā augstas dimensijas telpā. Šī vienkāršība apvienojumā ar jaunāko sniegumu daudzās mācīšanās problēmās (klasifikācija, regresija un novitātes noteikšana) ir veicinājusi SVM popularitāti (Karatzoglou et al., 2006). Tos pirmo reizi izmantoja Sugu izplatības modelī Guo et al. (2005). Ir vairākas SVM īstenošanas programmā R. Visnoderīgākās īstenošanas mūsu kontekstā, iespējams, ir funkcija `ksvm` paketē `kernlab` un `svm` funkcija paketē `e1071`. `ksvm` ietver daudz dažādu SVM sastāvu un kodolu un

nodrošina noderīgas iespējas un funkcijas, piemēram, metodi plānošanai, bet tai trūkst pienācīga modeļa atlasē rīka. `SVM` funkcija paketē `e1071` ietver modeļa izvēles rīku: `tune` funkciju (Karatzoglou et al., 2006)

Maxent

MaxEnt (saīsinājums no "*Maximum Entropy*"; Phillips et al., 2006, Phillips and Dudík, 2008) ir visplašāk izmantotais SDM algoritms. Elith et al. (2011) sniedz ekoloģiem pielāgotu skaidrojumu par algoritmu (un programmatūru). MaxEnt pamatpieņēmums ir, ka sugu sastopamība ir nejauši izvēlēta no nezināma vides apstākļu sadalījuma (Phillips et al., 2006), taču pastāv iespēja, ka dati ir iegūti ar telpisko sistēmātisko kļūdu (bias) vai sistēmātisku kļūdu attiecībā pret sastopamību.

Lai novērstu multikolinearitāti, neatkarīgo mainīgo savstarpējo korelāciju var pārbaudīt, izmantojot Spīrmana rangu korelācijas koeficientu, par sliekšni izmantojot $|\rho| > 0,7$, pēc tam, balstoties uz to bioloģiskā nozīmīgumu un to svaru, veic galveno komponentu analīzi (PCA) (Gomes et al., 2017)

MaxEnt ir pieejams kā atsevišķa Java programma. `Dismo` ir funkcija `maxent`, kas sazinās ar šo programmu. Tomēr var arī vispirms piemērot modeli ar citām metodēm, piemēram, `glm`.

Maxent ir izmantots sastopamības prognožu izstrādei, lai izprastu izmaiņas, kas saistītas ar klimata pārmaiņām/ zemes transformāciju; ietver retrospektīvus pētījumus.

Pēc noklusējuma programma ierobežo modeli līdz vienkāršām funkcijām, ja ir pieejami tikai daži paraugi (vienmēr tiek izmantots lineāra funkcija; kvadrātiska - ar vismaz 10 paraugiem; vira (*hinge*) ar vismaz 15; sliekšnis (*threshold*) un reizinājums (*product*) - ar vismaz 80). Aprēķināts, ka kritiskais paraugu skaits, lai iegūtu no nejauša sadalījuma statistiski būtiski atšķirīgus modeļus, pētījumā, kas veikts Norvēģijā 90% kukaiņu sugu ir 10, bet 97% sugu 15 klātbūtnes dati (Støa et al., 2019).

Muscarella et al., (2014) ir izveidojis R programmas pakotni ENMeval, kas ļauj optimizēt modeļa parametrus: regularizācijas reizinātāju (*regularisation multiplier* (RM)) un pazīmju kombināciju (feature combination (FC) un analizēt modeļu kompleksitāti dažādu parametru kombinācijā, sekojoši izvēlētais kombināciju ar zemāko modeļa kompleksitāti. FC parametriem Maxent modelī ir 5 veidi: lineārs (L), kvadrātisks (Q), vira (*hinge*) (H), reizinājums (P) un sliekšnis (T) (Phillips et al., 2006). Modelī ir iespējams izvēlēties dažādas kombinācijas, piem., L, LQ, H, LQH, LQHP vai LQHPT utt.. No datu kopas izveido treniņu un testa apakškopas. Kombinējot RM variantus un FC variantus ENMeval pakotnē tos var salīdzināt, izmantojot Akaiķes informācijas kritērija korekciju (AICc). Starpību starp treniņa un testēšanas kopu AUC salīdzina, lai novērtētu modeļu atbilstību, bet ar 10% treniņa datu izlaišanas pakāpi (omission rate (OR10) novērtē modeļa pārparametrizācijas pakāpi (Warren and Seifert, 2011) Metodika ir pilnveida ENMeval2.0 (Kass et al., 2021).

Viras funkcijas mēdz padarīt lineāras un sliekšņa funkcijas liekas, un viens no veidiem, kā veidot modeli ar salīdzinoši gludām funkcijām, vairāk kā GAM, ir izmantot tikai viras funkcijas. Izslēdzot pazīmju reizinājumus, tiek izveidots aditīvais modelis, kas ir vieglāk interpretējams, lai gan mazāk spēj modelēt sarežģītu mijiedarbību.

Veicot aprēķinus kovariantes var pirmapstrādāt, izmantojot PCA un izvēloties dažas dominējošās asis. Tomēr jāņem vērā, ka, tā kā bieži vien ir pieejami daudzi mainīgie lielumi, ir lietderīgi izstrādāt ekspertu veidotu kandidātkopu priekšatlasi.

Modeļu prognožu kombinēšana

Tā vietā, lai paļautos uz vienu "labāko" modeli, daži autori (piemēram, Thuillier, 2003) ir iestājušies par daudzu modeļu izmantošanu un sava veida modeļa vidējošanu.

Citas metodes

Canonical Correspondence Analysis (CCA)

Kanoniskās korespondences analīze (*Canonical Correspondence Analysis* (CCA)) ir izveidota, lai varētu salīdzināt sugu daudzumu (*abundance*) ar vides mainīgajiem, pieņemot, ka attiecības atbilst normālajam (Gausa) sadalījumam.

Fišera tests (Fisher`s exact test)

Precīzs Fišera tests ir statistiskā nozīmīguma tests, ko izmanto, analizējot kontingences tabulas. Šī testa gadījumā novirzes no nulles hipotēzes būtiskums tiek izrēķināts tieši. To var izmantot mazu paraugkopu gadījumā. Lielu paraugkopu gadījumā var izmantot Hi kvadrāta testu vai G testu. Šīs metodes var izmantot, ja katrā gradācijas klasē ir vismaz 5 novērojumi, vai 10 novērojumi, ja brīvības pakāpju skaits ir 1.

PVA, Population Viability Analysis

Analīze pieejama vairākās datorprogrammās ('Vortex', 'RAMAS Metapop', R pakete 'PVAclone', u.c.). Lai izmantotu šo metodi, vajadzīgas labas un daudzpusīgas zināšanas par sugas bioloģiju un ekoloģiju (Lacy & Pollak 2014) Šī pieeja ir izmantojama sugām, kuru populācijas novērtēšanas vienība ir indivīds (nevis, piemēram, atradne u.c.) un kuras vairojas konkrētajā valstī (nevis tikai ziemo vai šķērso migrāciju laikā).

Vides dati

Latvijā veiktos pētījumos (Avotiņš, 2019), (Bergmanis et al., 2020) izmantota pieeja, kas balstīta uz klātbūtnes datiem – MaxEnt. Ekoloģiskās nišas un biotopu piemērotības modeļiem nepieciešamo ekoģeogrāfisko mainīgo sagatavošanai vides dati iegūti kā pārveidots produkts (visa informācija ir saņemta rasterizētā formā ar 25m šūnas izmēru) no vektordatu ģeodatu bāzēm: Lauku atbalsta dienesta (LAD) klientu lauku un lauku bloku datubāzēm, Valsts meža dienesta Meža valsts reģistra (MVR), Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūras (LĢIA) topogrāfiskās kartes M1:10000. Papildus tam, izmantota brīvpieejas informācija par koku segumiem no www.globalforestwatch.org. (Avotiņš, 2019)

Dzeņu sugu aizsardzības plāna (SAP) (Bergmanis et al., 2020) izstrādē izmantoti sekojoši ekoģeogrāfiskie mainīgie:

- 1) apses īpatsvars mežaudžu krājā 25ha ainavā;
- 2) ar kokiem klātās platības 25ha ainavā;
- 3) egles īpatsvars mežaudžu krājā 25ha ainavā;
- 4) izcirtumu un jaunaudžu, kas zemākas par 5m, platība 490ha ainavā;
- 5) jauktu koku pieaugušu un pāraugušu mežaudžu platība 490ha;
- 6) jauktu koku vidēja vecuma un briestaudžu platība 490ha;
- 7) jaunaudžu virs 5m augstumā un krūmāju platība 490ha ainavā;
- 8) laiks kopš pēdējā ar koku ciršanu vai stādīšanu saistītā traucējuma mežaudzēs 25ha ainavā;
- 9) lielākais koku diametrs 25ha ainavā;
- 10) mitrāju platība 25ha ainavā;
- 11) parku, kapu ar kokiem un aleju platība 25ha ainavā;
- 12) platlapju īpatsvars mežaudžu krājā 25ha ainavā;
- 13) platlapju pieaugušu un pāraugušu mežaudžu platība 490ha ainavā;
- 14) platlapju vidēja vecuma un briestaudžu platība 490ha ainavā;
- 15) priedes īpatsvars mežaudžu krājā 25ha ainavā;
- 16) skuju koku pieaugušu un pāraugušu mežaudžu platība 490ha ainavā;
- 17) skuju koku vidēja vecuma un briestaudžu platība 490ha ainavā;

- 18) šaurlapju īpatsvars mežaudžu krājā 25ha ainavā;
- 19) šaurlapju pieaugušu un pāraugušu mežaudžu platība 490ha ainavā;
- 20) šaurlapju vidēja vecuma un briestaudžu platība 490ha ainavā;
- 21) ūdensobjektu platība 25ha ainavā;
- 22) Vecākās mežaudzes vecuma novirzes no cirtmeta īpatsvars no cirtmeta 25ha ainavā;
- 23) Vidējais mežaudzes vecuma novirzes no cirtmeta īpatsvars no cirtmeta 25ha ainavā;
- 24) Zālāji, lauksaimniecībā izmantojamās zemes un meža lauces 25ha ainavā.

Pūču sugu aizsardzības plānā (Avotiņš, 2019) izmantotie vides faktori:

- 1) apses īpatsvars mežaudžu krājā 25ha ainavā;
- 2) ainavas relatīvā atvērtība 25ha ainavā;
- 3) apbūves un karjeru platības 25ha ainavā;
- 4) apbūves un karjeru platība 7900ha ainavā;
- 5) ar kokiem klātās platības 25ha ainavā;
- 6) aramzemju platība 490ha ainavā;
- 7) attālums līdz apbūvei un karjeriem;
- 8) attālums līdz atkritumu poligoniem;
- 9) attālums līdz atkritumu poligoniem, glabātuvēm un šķirotavām;
- 10) attālums līdz lielākajiem autoceļiem un dzelzceļiem;
- 11) attālums līdz ūdensmalu veģetācijai;
- 12) briestaudzes un vecāku mežaudžu platība 490ha ainavā;
- 13) briestaudzes un vecāku mežaudžu platība 7900ha ainavā;
- 14) ceļu garums 25ha ainavā;
- 15) egles īpatsvars mežaudžu krājā 25ha ainavā;
- 16) eitrofu purvaiņu mežu platība 490ha ainavā;
- 17) eitrofu sausieņu un slapjainu mežu platība 490ha ainavā;
- 18) eitrofu susināto mežu platība 490ha ainavā;
- 19) izcirtumu un jaunaudžu līdz 5m augstumā platība 490ha ainavā;
- 20) izcirtumu un jaunaudžu malu ar mežaudzēm virs 5m blīvums 25ha ainavā;
- 21) izcirtumu un jaunaudžu, kas zemākas par 5m, platība 490ha ainavā;
- 22) jauktu koku mežu platība 490ha ainavā;
- 23) jauktu koku pieaugušu un pāraugušu mežaudžu platība 490ha ainavā;
- 24) jauktu koku vidēja vecuma un briestaudžu platība 490ha ainavā;
- 25) jaunaudžu virs 5m augstumā un krūmāju platība 490ha ainavā;
- 26) laiks kopš pēdējā ar koku ciršanu vai stādīšanu saistītā traucējuma mežaudzēs 25ha ainavā;
- 27) latvijas koordinātu sistēmas X koordināte;
- 28) lielākais koku diametrs 25ha ainavā;
- 29) lielākais mežaudžu šķērslaukums 25ha ainavā;
- 30) LIZ, izcirtumu un jaunaudžu malu ar mežaudzēm virs 5m blīvums 25ha ainavā;
- 31) LIZ, izcirtumu un jaunaudžu malu ar mežaudzēm virs 5m blīvums 490ha ainavā;
- 32) mazdārziņu un rušīnkultūru platība 490ha ainavā;
- 33) mezotrofu sausieņu un slapjainu mežu platība 490ha ainavā;
- 34) mežaudžu relatīvais auglīgums 25ha ainavā;
- 35) mežaudžu virs 5m augstumā, vientuļo koku, parku un aleju platība 25ha ainavā;
- 36) mežaudžu, kas augstākas par 5m, malu ar atvērto ainavu blīvums 490ha ainavā;
- 37) mežaudžu, kas pārsniegušas 5m augstumu, vidējais dziļums 25ha ainavā;
- 38) mistraudžu platība 25ha ainavā;
- 39) mitrāju platība 25ha ainavā;
- 40) niedrāju un meldrāju malas ar ūdeni garums 7900ha ainavā;
- 41) niedrāju un meldrāju veģetācijas platība 490ha ainavā;

- 42) niedrāju un meldrāju veģetācijas platība 7900ha ainavā;
- 43) oligotrofu purvainu mežu platība 490ha ainavā;
- 44) oligotrofu sausieņu un slapjainu mežu platība 490ha ainavā;
- 45) oligotrofu susināto mežu platība 490ha ainavā;
- 46) papuvju platība 490ha ainavā;
- 47) parku, kapu ar kokiem un aleju platība 25ha ainavā;
- 48) parku, kapu ar kokiem un aleju platība 490ha ainavā;
- 49) pieaugušo un pāraugušo mežaudžu malu ar atvērto ainavu blīvums 25ha ainavā;
- 50) pieaugušo un pāraugušo mežaudžu malu ar atvērto ainavu blīvums 490ha ainavā;
- 51) pieaugušo un pāraugušo mežaudžu platība 1960ha ainavā;
- 52) pieaugušo un pāraugušo mežaudžu platība 490ha ainavā;
- 53) platlapju īpatsvars mežaudžu krājā 25ha ainavā;
- 54) platlapju mežu platība 490ha ainavā;
- 55) platlapju pieaugušu un pāraugušu mežaudžu platība 490ha ainavā;
- 56) platlapju vidēja vecuma un briestaudžu platība 490ha ainavā;
- 57) priedes īpatsvars mežaudžu krājā 25ha ainavā;
- 58) relatīvais mežaudžu mitrums 25ha ainavā;
- 59) relatīvais pameža blīvums 25ha ainavā;
- 60) skuju koku mežu platība 490ha ainavā;
- 61) skuju koku pieaugušu un pāraugušu mežaudžu platība 490ha ainavā;
- 62) skuju koku vidēja vecuma un briestaudžu platība 490ha ainavā;
- 63) šaurlapju īpatsvars mežaudžu krājā 25ha ainavā;
- 64) šaurlapju mežu platība 490ha ainavā;
- 65) šaurlapju pieaugušu un pāraugušu mežaudžu platība 490ha ainavā;
- 66) šaurlapju vidēja vecuma un briestaudžu platība 490ha ainavā;
- 67) ūdensobjektu platība 25ha ainavā;
- 68) vecākās mežaudzes vecuma novirzes no cirtmeta īpatsvars no cirtmeta 25ha ainavā;
- 69) vidēja vecuma mežaudžu platība 490ha ainavā;
- 70) vidēja vecuma un briestaudžu malu ar atvērto ainavu blīvums 490ha ainavā;
- 71) vidēja vecuma un briestaudžu platība 1960ha ainavā;
- 72) vidēja vecuma un briestaudžu platība 490ha ainavā;
- 73) vidējais laiks kopš pēdējā ar koku ciršanu vai stādīšanu saistītā traucējuma mežaudzēs 25ha ainavā;
- 74) vidējais lielāko koku diametrs 25ha ainavā;
- 75) vidējais mežaudzes vecuma novirzes no cirtmeta īpatsvars no cirtmeta 25ha ainavā;
- 76) vidējais mežaudžu šķērslaukums 25ha ainavā;
- 77) zālāji, lauksaimniecībā izmantojamās zemes un meža lauces 25ha ainavā;
- 78) zālāju platība 490ha ainavā.

Izmantoto metožu priekšrocības un trūkumi: kopsavilkums

Biotopu (meža ainavas) piemērotības kādai sugai, līdz ar to dažādu faktoru (t.sk. mežsaimnieciskās darbības) ietekmes uz piemērotību raksturošanai galvenokārt tik izmantoti modeļi, kas balstās tikai uz sugas klātbūtnes datiem (*presence only*). Šādu modeļu galveni trūkumi:

- 1) nav nosakāma sugas izplatība (aizņemto vietu īpatsvars) ainavā, t.i., formāli mēs sakām, ka izplatība nav identificējama no datiem, kas attiecas tikai uz klātbūtni. Tomēr prombūtnes (*absence*) datiem ir atklāšanas varbūtības problēmas, jo ir ne tikai gadījumi, kad suga patiesi nav atbilstošajā punktā sastopama, bet tā varēja netikt konstatēta dažādu iemeslu dēļ (MacKenzie, 2005);
- 2) paraugkopas izvēles neobjektivitātei (kad dažās ainavas teritorijās paraugi tiek ņemti intensīvāk nekā citās) ir nozīmīga ietekme uz rezultātu. Tātad nepieciešama apjomīga

un reprezentatīva datu kopa, lai izdarītu secinājumus par kādu faktoru izmaiņu meža ainavā (piemēram, saimnieciskas darbības intensitāte) ietekmi uz analizēto sugu vai sugu kopu (piemēram, meža putnu indeksa sugas). Tieši tādēļ meža putnu indeksa vērtējumā (kas tik veidots kā reprezentatīvs Latvijai) ietverot datus, kur mežainākie reģioni pārstāvēti tikai ar dažiem transekciem, nav iespējams iegūt objektīvu realitātes, izmaiņu atspoguļojumu. Klātbūtnes un prombūtnes (*presence/absence*) modeļiem izlases atlases sistemātiskā kļūda ietekmē gan klātbūtnes, gan prombūtnes ierakstus, un sistemātiskās kļūdas ietekme izlīdzinās. Aktuālās (realizētās) izplatības raksturošanai nepieciešama arī informācija par biotiskajām mijiedarbībām, izplatīšanās ierobežojumiem un citiem vides rādītājiem (Araújo, Peterson, 2012);

- 3) pārmērīga modeļa pielāgošana (*over-fitting*) konkrētajiem datiem, tādējādi ierobežojot iespēju iegūt vispārināmu rezultātu. Šo trūkumu jāņem vērā, izvēloties reprezentatīvu paraugkopu un interpretējot rezultātus. Tāpat atsevišķos modeļos šī trūkuma ietekmes mazināšanai iekļauj parametru “regularizācijas reizinātāju” (*regularization multiplier*), ar kura palīdzību tiek samazināta modeļa sarežģītība un sniegtās prognozes var tikt piemērojamas plašākam reģionam.

Nozīmīgākā tikai sastopamība modeļu priekšrocība: rezultātā tiek ņemtas vērā vienīgi empīriski konstatētās (faktiskās) vērtības bez pieņēmumiem par to, kur šādām vērtībām vajadzētu būt, lai raksturotu to neesamības ietekmi. Tāpat, ja kāda konkrētā suga uzskaites brīdī nav tikusi konstatēta, tas nenozīmē, ka suga tur nebūs sastopama citā brīdī, tādējādi ir ļoti grūti noteikt patieso neesamības datus. Izmantojot tikai sastopamības modeļus, iegūto rezultātu ievērojami mazāk ietekmē analīzē ietvertie pieņēmumi. Tikai klātbūtnes modeļu (piemēram, MaxEnt) rezultāts (maksimālās ticamības vērtība no relatīvās klātbūtnes iespējamības) ļaujot definēt sugām piemērotu dzīvotņu robežas, Turklāt MaxEnt modeļos izmanto vispārinātu pieeju, ņemot vērā datus no visas pētījumu zonas.

Ņemot vērā aprakstītās metožu galvenās priekšrocības un ierobežojumus (trūkumus), saimnieciskās darbības (un citu faktoru) ilgtermiņa ietekmes uz meža putnu populācijām vērtēšanai rekomendējams izmantot tikai klātbūtnes modeļus ar pietiekamu, reprezentatīvu empīrisku datu kopu. Kass et al., (2021) konstatējis, ka pētījumos, kuros izmantots Maxent un ENMeval, AICc ir visbiežāk izmantotais indikators modeļu novērtēšanai. Elith et al. (2006) un citos pētījumos izmantoja 16 SDM, lai prognozētu 226 sugu potenciālo ģeogrāfisko izplatību, un rezultāti parādīja, ka Maxent ir labāka precizitāte nekā citiem modeļiem; līdzīgi rezultāti iegūti arī citos salīdzinājumos.

3. Metodikas projekts meža putnu sugu populāciju telpiskās izplatības modeļu izstrādei.

Pētījuma ietvaros saskaņā ar plānu izstrādāts metodikas projekts putnu sugu populāciju izplatības modeļu izstrādei. Ņemot vērā pilotpētījumā ievākto datu apjomu un ilgumu (1 sezona), šīs aktivitātes izpilde saskaņā ar plānoto ir aprakstoša.

Dažādu faktoru ietekmes uz meža putnu indeksa sugām vērtēšanas metodikas aprobācijai veikta trīs ainavās (Mazirbe, Vecumnieki un Koknese), kurās dominējošais zemes lietojuma veids ir meža zeme. Izvēlētajās meža ainavās tika izveidoti kopumā trīs maršruti, katrā ainavā izvietojot divus savstarpēji paralēlus transektus, katrs 2 km garumā (1.1. attēls). Katram transektam tika izveidota buferzona 100 m uz katru pusi, kas atbilst putnu uzskaites joslas platumam. Metodikas funkcionalitāte demonstrēta izmantojot programmu MaxEnt 3.4.4. (Phillips et al., 2004). Analīzes veikšanai ar šo programmu nepieciešamie ievades dati un saistītās izmantotās programmas apkopotas 3.1. tabulā. Analīzes vajadzībām izmantoti dati no četrām putnu uzskaitēm, kas veiktas 2021. gada sezonā katrā no trim meža ainavām (pētījuma 1. darba uzdevums). Vides piemērotība putnu sugām vērtēta izvēloties no fona sugām žubīti (*Fringilla coelebs*), svirlīti (*Phylloscopus sibilatrix*), vītīti (*Phylloscopus trochilus*), paceplīti (*Troglodytes troglodytes*) un čuņčiņu (*Phylloscopus collybita*), un retāk pārstāvētās sugas sīli (*Garrulus glandarius*), meža zīlīti (*Parus ater*) un melno dzilnu (*Dryocopus martius*).

Tabula 3.1. Analīzei izmantotie datu slāņi un programmas

| Programma | Telpisko datu slāņi |
|---------------------------------|---|
| MaxEnt, ArcMap, Microsoft Excel | Putnu uzskaites dati (<i>samples</i>), Meža valsts reģistra dati un no tiem izveidots katra analizētā vides faktora datu slānis, atlanta kvadrātu tīkls (<i>fishnet</i>), katra vides faktora MaxEnt telpisko datu slānis (<i>MaxEnt environmental layer</i>) |

Datu analīzes soļi un izmantoto datu kopu (telpisko datu slāņu) apraksts

3.1. Putnu uzskaites datu sagatavošana

Putnu uzskaites datubāze (ievākšanas apraksts 1. darba uzdevumā) Microsoft Excel vidē ar kolonnām “putna suga” un “koordinātes (x, y)”.

3.2. Vides faktoru karšu sagatavošana

3.2.1. Telpiskie dati

Meža putnu telpiskās izplatības modelēšanas vajadzībām izmantoti Valsts meža dienesta meža nogabalu telpiskie dati (turpmāk tekstā: slānis “taksācija”), kas satur aktuālo meža inventarizācijas informāciju atribūtu tabulas. Meža telpiskie dati atlasīti piecu kilometru buferjosla ap katru transektu.

Analīze vajadzībām izvēlēti seši vides faktori (aprakstīti 2. darba uzdevumā):

- o egļu krājas īpatsvars no audzes kopējās krājas;
- o priežu krājas īpatsvars no audzes kopējās krājas;
- o lapu koku krājas īpatsvars no audzes kopējās krājas;
- o vecuma novirze no konkrētajai valdošajai koku sugai noteiktā cirtmeta vecuma;
- o audzes šķērslaukums;
- o izcirtuma īpatsvars no kopējās platības.

Taksācijas slāņa atribūtu tabulā katram no šiem vides faktoriem izveidota jauna kolonna ar tā vērtību katrā nogabalā.

Taksācijas slānis no vektora formāta konvertēts rastra formātā izmantojot ArcMap 10.5. rīku *Polygon to raster*, kā pikseļa vērtība tika norādīts aprēķināts vides faktors, pikseļa izmērs norādīts 25×25 m. Ja vienā pikselī ietilpa vairāk par vienu nogabalu, tad izmantota tā nogabala vērtība, kas atradās pikseļa centrā. Šāda veidā katram vides faktoram izveidotas atsevišķas rastra karte (turpmāk tekstā slānis: vides faktors).

3.2.2. Atlanta kvadrātu tīkls kā katra vides faktora MaxEnt telpisko datu slānis

Lai nodrošinātu izvēlēto vides faktoru vienmērīgu un skaitliski reprezentatīvu pārstāvniecību, katrā no izvēlētajām trim ainavām (Mazirbe, Vecumnieki un Koknese) tika izveidots atlanta kvadrātu tīkls. Kvadrātu tīkls veidots tā, lai tas nosegtu visu ainavu, un viens šūnas izmērs bija izvēlēts 500×500 m jeb 25 ha liela šūnas platība, šūnas izvietotas paralēli transekciem.

Katrā kvadrātā tika aprēķināta izvēlēta vides faktora vidējā vērtība, šim nolūkam izmantojot *Zonal statistics* rīku ArcMap programmā. Šajā rīkā kā ievades vērtība izmantots slānis vides faktors un kā zonas dati izmantots atlanta kvadrātu tīkls. Rezultātā katrai ainavai atsevišķi izveidotas sešas vides faktora kartes ar vienādām ģeogrāfiskajām robežām, šūnas izmēru un projekcijas sistēmu ASCII formātā.

3.3. Maxent analīze

Pirms ievades programmā MaxEnt 3.4.4. izveidotais Putnu uzskaites datubāzes slānis tiek pārvērsts no .xls formāta uz .csv formātu. Programmā ievada Putnu uzskaites datus un katra vides faktora MaxEnt telpisko datu slāni. Šajā pētījumā veiktajā analīzes piemērā izmantoti MaxEnt programmas noklusējuma parametri.

Izveidoti Maxent modeļi izvēlētajām sugām, no kuriem katrā konkrētajā gadījumā kā labāk raksturojošais izvēlēts viens – ar augstāko AUC (precizitātes raksturojuma) vērtību. Tāpat konstatējama katra vērtētā vides parametra relatīvā nozīme, raksturojot vides piemērotību (3.2., 3.3. tabula). Iegūtos rezultātus iespējams izteikt arī telpiski, piemēram dota žubītes izplatības karte 3.1. attēlā, kā arī 3.2. attēlā dota retāk sastopamā melnā dzilna izplatība.

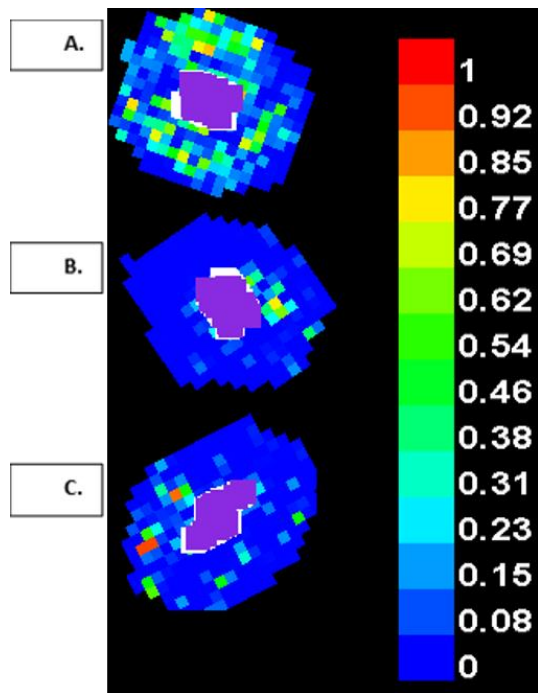
3.2. tabula. Dažādu vides faktoru relatīvā (%) ietekme uz putnu sugu klātbūtni meža ainavās.

| Ainava | Vides faktors | Fona sugas | | | | | Retāk pārstāvētās sugas* | | |
|------------|---|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------|
| | | <i>Fringilla coelebs</i> | <i>Phylloscopus collybita</i> | <i>Phylloscopus trochilus</i> | <i>Phylloscopus sibilatrix</i> | <i>Troglodytes troglodytes</i> | <i>Dryocopus martius</i> | <i>Garrulus glandarius</i> | <i>Parus ater</i> |
| Koknese | Vidējais egles īpatsvars 25 ha ainavā | 57.2 | 80.1 | 32.4 | 67.6 | 72.6 | 0 | 2.1 | 80 |
| | Vidējais priedes īpatsvars 25 ha ainavā | 16.2 | 0.0 | 1.5 | 1.6 | 0.3 | 45.9 | 35.5 | 0 |
| | Vidējais lapu koku īpatsvars 25 ha ainavā | 11.4 | 6.8 | 27.7 | 4.0 | 3.9 | 10.9 | 15.6 | 11.1 |
| | Vidējais audžu šķērslaukums 25 ha ainavā | 10.2 | 10.7 | 32.2 | 19.9 | 22.7 | 8.8 | 46.8 | 0 |
| | Izcirtumu īpatsvars 25 ha ainavā | 3.2 | 1.2 | 4.9 | 5.4 | 0.2 | 31.9 | 0 | 0 |
| | Vidējā audžu vecuma novirze 25 ha ainavā | 1.9 | 1.2 | 1.3 | 1.6 | 0.3 | 2.5 | 0 | 9 |
| Mazirbe | Vidējais egles īpatsvars 25 ha ainavā | 3.1 | 11.7 | 0.0 | 0.0 | 2.6 | | 0 | 2.5 |
| | Vidējais priedes īpatsvars 25 ha ainavā | 16.7 | 14.3 | 4.6 | 34.3 | 3.0 | | 0 | 0 |
| | Vidējais lapu koku īpatsvars 25 ha ainavā | 12.6 | 0.9 | 22.1 | 6.9 | 0.0 | | 0 | 12.4 |
| | Vidējais audžu šķērslaukums 25 ha ainavā | 16.1 | 22.2 | 2.9 | 45.2 | 41.1 | | 13.4 | 0 |
| | Izcirtumu īpatsvars 25 ha ainavā | 32.2 | 28.9 | 43.4 | 6.8 | 34.8 | | 75 | 55.9 |
| | Vidējā audžu vecuma novirze 25 ha ainavā | 19.4 | 22.2 | 27.1 | 6.8 | 18.6 | | 11.5 | 29.2 |
| Vecumnieki | Vidējais egles īpatsvars 25 ha ainavā | 25.7 | 39.5 | 0.0 | 45.7 | 26.6 | | 0.1 | 0 |
| | Vidējais priedes īpatsvars 25 ha ainavā | 27.0 | 9.0 | 0.0 | 0.0 | 29.0 | | 0.9 | 52.2 |
| | Vidējais lapu koku īpatsvars 25 ha ainavā | 0.5 | 0.4 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | | 0 | 0 |
| | Vidējais audžu šķērslaukums 25 ha ainavā | 34.4 | 33.7 | 76.2 | 54.2 | 20.5 | | 30 | 46.3 |
| | Izcirtumu īpatsvars 25 ha ainavā | 7.5 | 11.7 | 23.9 | 0.0 | 22.9 | | 69 | 0 |
| | Vidējā audžu vecuma novirze 25 ha ainavā | 5.0 | 5.7 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | | 0 | 1.5 |

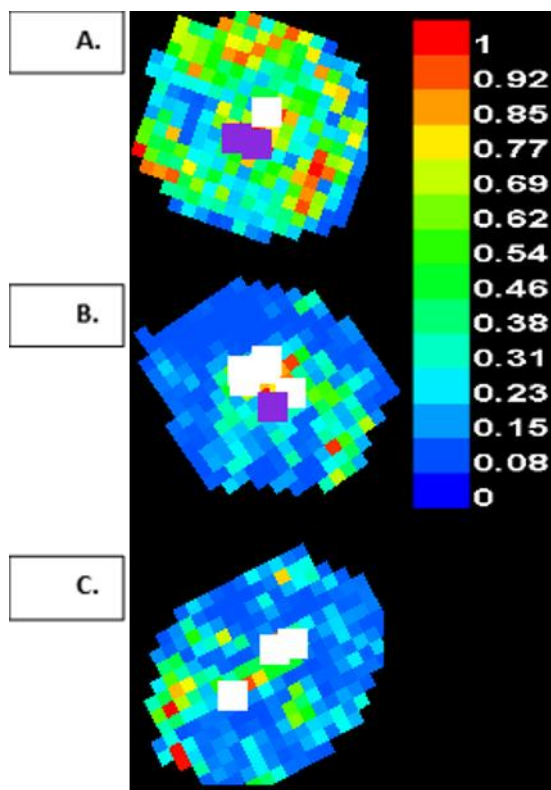
*gadījumos, kad retāk pārstāvēto sugu sastopamība ir pārāk zema, aprēķini (to sastopamības saiknes ar vides parametriem raksturojums) nav iespējami

3.3. tabula. Permutācijas nozīme (%) uz putnu sugu klātbūtni meža ainavās atkarībā no dažādiem vides faktoriem.

| Ainava | Vides faktors | Fona sugas | | | | | Retāk pārstāvētās sugas | | |
|------------|---|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------|
| | | <i>Fringilla coelebs</i> | <i>Phylloscopus collybita</i> | <i>Phylloscopus trochilus</i> | <i>Phylloscopus sibilatrix</i> | <i>Troglodytes troglodytes</i> | <i>Dryocopus martius</i> | <i>Garrulus glandarius</i> | <i>Parus ater</i> |
| Koknese | Vidējais egles īpatsvars 25 ha ainavā | 30.8 | 53.6 | 33.9 | 47.1 | 40.6 | 0 | 0.2 | 84.4 |
| | Vidējais priedes īpatsvars 25 ha ainavā | 5.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0 | 0 | 0 |
| | Vidējais lapu koku īpatsvars 25 ha ainavā | 45.8 | 2.6 | 30.3 | 12.6 | 6.6 | 19.6 | 16.5 | 0 |
| | Vidējais audžu šķērslaukums 25 ha ainavā | 4.4 | 36.5 | 33.5 | 33.9 | 49.9 | 34.7 | 83.3 | 0 |
| | Izcirtumu īpatsvars 25 ha ainavā | 5.2 | 7.3 | 1.1 | 5.9 | 0.5 | 43.1 | 0 | 0 |
| | Vidējā audžu vecuma novirze 25 ha ainavā | 8.6 | 0.0 | 1.1 | 0.6 | 1.7 | 2.5 | 0 | 15.6 |
| Mazirbe | Vidējais egles īpatsvars 25 ha ainavā | 0.4 | 7.8 | 0.3 | 0.0 | 2.3 | 0 | 0 | 0 |
| | Vidējais priedes īpatsvars 25 ha ainavā | 2.3 | 0.0 | 1.3 | 0.0 | 0.9 | 0 | 0 | 0 |
| | Vidējais lapu koku īpatsvars 25 ha ainavā | 5.4 | 2.3 | 16.1 | 19.6 | 0.0 | 0 | 0 | 5.8 |
| | Vidējais audžu šķērslaukums 25 ha ainavā | 22.0 | 24.8 | 3.9 | 50.7 | 28.2 | 8.2 | 0 | 0 |
| | Izcirtumu īpatsvars 25 ha ainavā | 51.5 | 36.1 | 60.4 | 26.3 | 52.6 | 83.3 | 51.6 | 0 |
| | Vidējā audžu vecuma novirze 25 ha ainavā | 18.4 | 29.2 | 18.2 | 3.4 | 16.1 | 8.6 | 42.6 | 0 |
| Vecumnieki | Vidējais egles īpatsvars 25 ha ainavā | 13.0 | 7.8 | 0.0 | 39.9 | 9.7 | 3 | 0 | 0 |
| | Vidējais priedes īpatsvars 25 ha ainavā | 3.6 | 1.7 | 0.0 | 0.0 | 29.3 | 2.1 | 15.5 | 0 |
| | Vidējais lapu koku īpatsvars 25 ha ainavā | 1.8 | 0.3 | 0.0 | 2.5 | 0.0 | 0 | 0 | 0 |
| | Vidējais audžu šķērslaukums 25 ha ainavā | 67.4 | 57.8 | 76.7 | 57.6 | 31.5 | 77.7 | 68.2 | 0 |
| | Izcirtumu īpatsvars 25 ha ainavā | 8.8 | 24.4 | 23.3 | 0.0 | 23.5 | 17.2 | 0 | 0 |
| | Vidējā audžu vecuma novirze 25 ha ainavā | 5.4 | 8.0 | 0.0 | 0.0 | 6.0 | 0 | 16.3 | 0 |



3.1.attēls. Prognozētās Žubītes izplatība Mazirbes (A), Vecumnieku (B) un Kokneses (C) ainavās, sarkanā krāsa nozīmē augstu varbūtību, zilā krāsa zemu varbūtību.



3.2. attēls. Prognozētā Melnā dzilna izplatība Mazirbes (A), Vecumnieku (B) un Kokneses (C) ainavās, sarkanā krāsa nozīmē augstu varbūtību, zilā krāsa zemu varbūtību.

Kombinējot rezultātus visām meža putnu indeksā ietvertajām sugām, iespējams iegūt kompleksu novērtējumu par tās ietekmējošajiem vides faktoriem. Modelī iespējams ietvert arī saimnieciskās darbības – mežkopība (meža atjaunošana, jaunaudžu kopšana), mežizstrāde (koku ciršana), kokmateriālu pievešana, meža ceļu būvniecība, meža meliorācijas sistēmu

atjaunošana – ietekmes vērtējumu, ņemot vērā LVM uzkrāto informāciju par saimniecisko darbību norisi un tās laiku. Šādā analīzē nozīmīgi, lai transekti atrastos tikai vai galvenokārt LVM teritorijā, mazinot nezināmo (fona – citu zemes īpašnieku veikto) darbību ietekmi, par ko nav dati. Saimnieciskās darbības ietekmes novērtēšanai var izmantot tās rezultātu (piemēram, nesen renovēta grāvja klātbūtne (ir/nav)), kā arī ietekmi konkrētajā putnu dzīves posmā, ko raksturo ar summārajām traucējumstundām, distances svērtajām summārajām traucējumstundām un trokšņa efekta svērtajām traucējumstundām. Lielākas datu kopas analīze nodrošinātu arī iespēju vērtēt darbību konkrētā laika posmā (piemēram, mežizstrādes vai jaunaudžu kopšanas vēlā pavasarī) ietekmi un tās nozīmi citu faktoru kompleksā. Papildus: sagatavojot analizējamo parametru kopu nozīmīgāka apjoma analīzei, jāņem vērā to telpiskā korelācija un autokorelācija – šie aspekti nav ietverti rekomendētajā programmā, tādēļ jāveic atsevišķa to statistiska analīze, no cieši korelējošajiem atlasot vienu (atkarībā no konkrētā pētījuma mērķa) un korelējošie parametri jāņem vērā iegūto rezultātu interpretācijā.

Iegūtais (rezultējošais) matemātiskais modelis izmantojams, lai vērtētu, kā vides faktoru izmaiņas (kā saimnieciskā darbība, tā klimata pārmaiņas) ietekmē un ietekmēs (salīdzinot dažādus scenārijus) konkrētās putnu sugas vai visu indeksā ietvertu sugu kompleksu.

Pētījuma galvenās atziņas

Ņemot vērā salīdzināto metožu galvenās priekšrocības un ierobežojumus (trūkumus), saimnieciskās darbības (un citu faktoru) ilgtermiņa ietekmes uz meža putnu populācijām vērtēšanai rekomendējams izmantot tikai klātbūtnes (*presence only*) modeļus (kā MaxEnt) ar pietiekamu, reprezentatīvu empīrisku datu kopu. Nelielas datu kopas izmantošana šādos modeļos var novest pie kļūdainiem secinājumiem, tādēļ, ja mērķis ir nodrošināt meža putnu indeksa objektīvu noteikšanu, nozīmīgi palielināt tā aprēķinam izmantoto ikgadējās uzskaites transektu skaitu. Pilotpētījuma ietvaros aprobēta metodika šādu uzskaišu veikšanai, nodrošinot visas 12 plānotās uzskaites dotajos transektos. Eventuālajā pētījuma turpinājumā transektu izvietojums saglabājams, ja mērķis ir tikai vērtēt LVM mežsaimniecisko darbību ilgtermiņa ietekmi, taču to virziens maināms, ja mērķis ir vienlaikus iegūt arī metodiski ar citviet ievāktiem datiem vienkārši savietojamu informāciju.

Kombinējot rezultātus visām meža putnu indeksā ietvertajām sugām, iespējams iegūt kompleksu novērtējumu par tās ietekmējošajiem vides faktoriem. Sākotnējā analīzē iespējami un lietderīgi izmantot tos parametrus, kas ietverti konkrēto putnu sugu dzīves nišu aprakstos (lielā mērā atspoguļoti 2. darba uzdevumā). Tomēr jāņem vērā, ka: a) putnu sugas pakāpeniski adaptējas vides izmaiņām (piemērs: pelēkā dzērve); b) populācijas blīvuma dēļ konkrētā suga var būt sastopama arī maz piemērotos biotopos vai nebūt sastopama piemērotos; c) faktori, kas konkrētās putnu sugas populācijas var būtiski ietekmēt sugu izplatības areāla dažādās daļās, var nozīmīgi atšķirties. Tādēļ nozīmīgi analīzē ietvert iespējami plašu parametru kopu. Tāpat, uzkrājoties pietiekamam datu apjomam, nozīmīgi testēt parasti analīzēs izmantotā pikseļa lieluma (25ha) un ainavas lieluma (500 ha) ietekmi, kuru roberžvērtības var atšķirties dažādām putnu sugām.

Meža putnu sugas ietekmē mežaudžu parametri (audzes un ainavas līmenī) un meteoroloģiskie apstākļi. Vides ietekmes vērtējumā nozīmīga meteoroloģisko apstākļu tiešā ietekme (iegūstama no meteoroloģiskajiem datiem, piemēram, sausums vasaras vidū vai sausumu raksturojošu indikatoru novirze no ilggadējās vidējās vērtības) un pastarpināta ietekme ar novirzi laikā (piemēram, veicot uzskaites pēc 1. punktā aprakstītās metodikas, tikai netieši iespējams konstatēt ietekmi uz ligzdošanas sekmēm, bet, piemēram, izteikts sausums gadā n , kas samazina ligzdošanas sekmes, izpaužas kā zemāks populācijas blīvums gadā $n+1$, ko iespējams konstatēt uzskaitē). Tāpat jāņem vērā vairāku faktoru mijiedarbības iespējamā ietekme.

Izmantotā literatūra

1. Araújo, M. B. & Peterson, A. T. Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. *Ecology* 93, 1527–1539 (2012)
2. Auniņš A. 2018. Latvijas ligzdojošo putnu monitorings. Uzskaišu metodika. Versija 2.0. Rīga: Latvijas Ornitoloģijas biedrība. – 49 lpp.
3. Avotiņš jun. A. 2019. Apodziņa *Glaucidium passerinum*, bikšainā apoga *Aegolius funereus*, meža pūces *Strix aluco*, urālpūces *Strix uralensis*, ausainās pūces *Asio otus* un ūpja *Bubo bubo* aizsardzības plāns. Latvijas Ornitoloģijas biedrība, Rīga.
4. Bergmanis M., Priednieks J., Avotiņš A. jun., Priediece I. (2020) Mazā dzeņa *Dryobates minor*, vidējā dzeņa *Leiopicus medius*, baltmugurdzeņa *Dendrocopos leucotos*, dižraibā dzeņa *Dendrocopos major*, trīspirkstu dzeņa *Picoides tridactylus*, melnās dzilnas *Dryocopus martius* un pelēkās dzilnas *Picus canus* aizsardzības plāns. Latvijas Ornitoloģijas biedrība, Rīga.
5. Booth, T.H., H.A. Nix, J.R. Busby and M.F. Hutchinson, 2014. BIOCLIM: the first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MAXENT studies. *Diversity and Distributions* 20: 1-9
6. Breiman, L., 2001. Random Forests. *Machine Learning* 45: 5-32.
7. Breiman, L., J. Friedman, C.J. Stone and R.A. Olshen, 1984. *Classification and Regression Trees*. Chapman & Hall/CRC
8. Carpenter G., A.N. Gillison and J. Winter, 1993. Domain: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity Conservation* 2: 667-680
9. Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. McC., Peterson, A. T., Phillips, S. J., Richardson, K. S., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M. S. and Zimmermann, N. E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. / *Ecography* 29: 129–151
10. Elith, J., J.R. Leathwick and T. Hastie, 2009. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology* 77: 802-81
11. Elith, J., S.J. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, Y.E. Chee, C.J. Yates, 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17:43-57.
12. Evans, J.M., Fletcher, R.J., Alavalapati, J., 2010. Using species distribution models to identify suitable areas for biofuel feedstock production. *GCB Bioenergy* 2 (2), 63–78. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01040>.
13. Friedman, J.H., 2001. Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *The Annals of Statistics* 29: 1189-1232.
14. Gomes V.H.F., Ijff S.D., Raes N., Amaral I.L., Salomão R.P., de Souza Coelho L., de Almeida Matos F.D., Castilho C. V., de Andrade Lima Filho D., López D.C., Guevara J.E., Magnusson W.E., Phillips O.L., Wittmann F., de Jesus Veiga Carim M., Martins M.P., Ireme M.V., Sabatier D., Molino, J.-F., Bánki O.S., da Silva Guimarães J.R., Pitman N.C.A., Piedade M.T.F., Mendoza A.M., Luize B.G., Venticinque, E.M., de Leão Novo E.M.M., Vargas P.N., Silva T.S.F., Manzatto A.G., Terborgh J., Reis N.F.C., Montero J.C., Casula K.R., Marimon B.S., Marimon B.-H., Coronado E.N.H., Feldpausch T.R., Duque A., Zartman C.E., Arboleda N.C., Killeen T.J., Mostacedo B., Vasquez R., Schöngart J., Assis R.L., Medeiros M.B., Simon M.F., Andrade A., Laurance W.F., Camargo J.L., Demarchi L.O., Laurance S.G.W., de Sousa Farias E., Nascimento H.E.M., Revilla J.D.C., Quaresma A., Costa F.R.C., Vieira I.C.G., Cintra B.B.L., Castellanos H., Brien R., Stevenson P.R., Feitosa Y., Duivenvoorden J.F., Aymard C., G.A., Mogollón H.F., Targhetta N., Comiskey J.A., Vicentini A., Lopes A., Damasco G., Dávila N., García-Villacorta R., Levis C., Schiatti J., Souza P., Emilio T., Alonso A., Neill D., Dallmeier F., Ferreira L.V., Araujo-Murakami A., Praia D., do Amaral D.D., Carvalho F.A., de Souza

- F.C., Feeley K., Arroyo L., Pansonato M.P., Gribel R., Villa B., Licona J.C., Fine P.V.A., Cerón C., Baraloto C., Jimenez E.M., Stropp J., Engel J., Silveira M., Mora M.C.P., Petronelli P., Maas P., Thomas-Caesar R., Henkel T.W., Daly D., Paredes M.R., Baker T.R., Fuentes A., Peres C.A., Chave J., Pena J.L.M., Dexter K.G., Silman M.R., Jørgensen P.M., Pennington T., Di Fiore A., Valverde F.C., Phillips J.F., Rivas-Torres G., von Hildebrand P., van Andel, T.R., Ruschel A.R., Prieto A., Rudas A., Hoffman B., Vela C.I.A., Barbosa E.M., Zent E.L., Gonzales G.P.G., Doza H.P.D., de Andrade Miranda I.P., Guillaumet J.-L., Pinto L.F.M., de Matos Bonates L.C., Silva N., Gómez R.Z., Zent S., Gonzales T., Vos V.A., Malhi Y., Oliveira A.A., Cano A., Albuquerque B.W., Vriesendorp C., Correa D.F., Torre E.V., van der Heijden G., Ramirez-Angulo H., Ramos J.F., Young K.R., Rocha M., Nascimento M.T., Medina M.N.U., Tirado M., Wang O., Sierra R., Torres-Lezama A., Mendoza C., Ferreira C., Baider C., Villarroel D., Balslev H., Mesones I., Giraldo L.E.U., Casas L.F., Reategui M.A.A., Linares-Palomino R., Zagt R., Cárdenas S., Farfan-Rios W., Sampaio A.F., Pauletto D., Sandoval E.H.V., Arevalo F.R., Huamantupa-Chuquimaco I., Garcia-Cabrera K., Hernandez L., Gamarra L.V., Alexiades M.N., Pansini S., Cuenca W.P., Milliken, W., Ricardo J., Lopez-Gonzalez G., Pos E., ter Steege H. 2018. Species Distribution Modelling: Contrasting presence-only models with plot abundance data. *Scientific Reports* 8, 1003. doi:10.1038/s41598-017-18927-1
15. Guisan, A., Edwards Jr T.C., and Hastie, T. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling* 157: 89-100
 16. Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. (2017). *Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R (Ecology, Biodiversity and Conservation)*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781139028271
 17. Guo, Q., M. Kelly, and C. Graham, 2005. Support vector machines for predicting distribution of Sudden Oak Death in California. *Ecological Modeling* 182: 75-90
 18. Hijmans R.J., and C.H. Graham, 2006. Testing the ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global change biology* 12: 2272-2281.
 19. Karatzoglou, A., D. Meyer and K. Hornik, 2006. Support Vector Machines in R. *Journal of statistical software* 15(9).
 20. Kass, J. M., Muscarella, R., Galante, P. J., Bohl, C., Pinilla-Buitrago, G. E., Boria, R. A., Soley-Guardia, M., & Anderson, R. P. (2021). ENMeval 2.0: redesigned for customizable and reproducible modeling of species' niches and distributions. *Methods in Ecology and Evolution*, Volume 12, Issue 9 September 2021 Pages 1602-1608 <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13628>
 21. LOB 2002. *Latvijas meža putni. 2. izdevums*. Rīga: McĀbols.- 224 lpp.
 22. LOB 2020. *Trešā Latvijas ligzdojošo putnu atlanta(2020.-2024. g.) datu ievākšanas un ziņošanas metodika*. <https://www.lob.lv/wp-content/uploads/2020/08/LLPA3-datu-ievaksanas-un-zinosanas-metodika-atbildes-uz-jautajumiem.pdf>
 23. MacKenzie, D.I. (2005) Was it there? Dealing with imperfect detection for species presence/absence data. *Australia and New Zealand Journal of Statistics*, 47, 65–74
 24. Mahalanobis, P.C., 1936. On the generalised distance in statistics. *Proceedings of the National Institute of Sciences of India* 2: 49-55.
 25. 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 in Ecology and Evolution*, 5: 1198–1205.
 26. Phillips S.J., Dudík M., Elith J., Graham C.H., Lehmann A., Leathwick J., Ferrier S. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecol Appl.* 2009 Jan;19(1):181-197. doi: 10.1890/07-2153.1.

27. Phillips, S.J., R.P. Anderson, R.E. Schapire, 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259
28. Phillips, Steven & Dudík, Miroslav. (2008). Modeling of species distributions with MAXENT: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*. 31. 161 - 175. 10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x.
29. Reihmanis J., Avotiņš A. Plēsīgo putnu monitorings 2020. gadā. *Putni dabā* 89 (2021/1), lpp. 29-33
Thuiller, W. 2003. BIOMOD - optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology* 9: 1353-1362.
30. Støa B., Halvorsen R., Stokland J.N., Gusarov V.I. 2018. How much is enough? Influence of number of presence observations on the performance of species distribution models. – *Sommerfeltia* 39: 1-28. Oslo. ISBN 978-82-7420-053-5. ISSN 0800-6865. DOI: 10.2478/som-2019-0001.
31. Vapnik, V., 1998. *Statistical Learning Theory*. Wiley, New York.
32. Warren, D. L. & Seifert, S. N. (2011). Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications*, 21: 335–342.
33. Wood, S., 2006. *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. Chapman & Hall/CRC.
34. Zuur, A., Ieno, E.N. and Smith, G.M. (2007) *Analyzing Ecological Data Statistics for Biology and Health*. Springer Science & Business Media, Berlin, 672 p. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-45972-1>