

Geomātika (tālīzpēte un ĢIS)

Latvijas Universitātes 83. starptautiskās
zinātniskās konferences referātu tēzes

Rīga, 2025

Ģeomātika (tālīzpēte un ĢIS). Latvijas Universitātes 83. starptautiskās zinātniskās konferences referātu tēzes. Rīga: Latvijas Universitāte, 13 lpp.

Redaktori: Māris Nartišs, Aivars Markots

© Latvijas Universitāte, 2025

Saturs

Ziemeļkurzemes upju un ezeru mīklas.....	4
<i>Ints LUKSS</i>	
Zinātnisko pētījumu atkārtojamība – CRAFTY ABM piemērs.....	6
<i>Māris NARTIŠS, Karina STANKEVIČA</i>	
Ģeotelpisko datu izmantošana hidroloģiskajā modelēšanā.....	9
<i>Ieva SIKSNĀNE, Artūrs VEINBERGS</i>	
Brīvpieejas Sentinel-2 satelītdatu pielietojums zālāju biotopu monitoringā.....	11
<i>Juris SOMS</i>	

Ziemeļkurzemes upju un ezeru mīklas

Ints LUKSS

Latvijas ĢIS biedrība, e-pasts: ints.lukss@gmail.com

Ziemeļkurzeme ar savu salīdzinoši neskarto dabu, sazaroto upju tīklu un gleznainajiem ezeriem ir pievilcīgs galamērķis ceļotājiem, sevišķi tiem, kam tuvi ir ūdeņi un laivošana pa tiem. Ļoti populārs ir maršruts pa Irbes upi, bet mazāk zināmas ir laivošanas iespējas pa citām Irbes baseina upēm. Noslēguma stadijā ir pirms gandrīz ceturtdaļgadsimta iznākušā ūdenstūrisma ceļveža pa Irbes baseina ezeriem un upēm (Brūderis, Lukss, 1991) atjaunošanas darbs (V. Avotiņš, I. Lukss), kura laikā ir savākts un apkopots liels kultūrvēsturiskās un ģeotelpiskās informācijas apjoms par šo apvidu. Daļa no savāktajām ziņām prasīja skaidrojumu un interpretāciju, kuri ne vienmēr ir viennozīmīgi, tādēļ jaunajā izdevumā ir paredzēta nodaļa “Ziemeļkurzemes upju un ezeru mīklas” šo gadījumu un iespējamo skaidrojumu izklāstam. Ziņojumā apskatītas trīs šādas mīklas: upju nosaukumu varianti, galvenās ūdensteces grīvas atrašanās vieta un Zigatezera mīklainā uzvedība.

Ziemeļkurzemes upju nosaukumi ir ļoti mainījušies gadsimtu gaitā, kas apgrūtina vēsturisko datu lokalizāciju un interpretāciju. Pārskatot vēsturiskās kartes, var atrast vairākus upju nosaukumu variantus: (1) Engures upe sākas starp Talsiem un Angeren (Engure?), no kreisā krasta uzņem pieteku no ezera (Usmas vai Puzes) un ietek jūrā pie Angermindes (Angermund); (2) Irbes upe sākas, satekot divām upēm R no Dundagas (tagad – Raķupe un Pāce), no kreisā krasta uzņem Stendi un Enguri, kas iztek no Puzes ezera, un ietek jūrā pie Jaunciema; (3) Engures upe iztek no Puzes ezera, no labā krasta uzņem Irbes upi ar pieteku Trumpi un ietek jūrā pie Lielirbes; (4) Engure iztek no Usmas ezera un ietek Puzes ezerā, no kura iztek Angerminde un, satekot ar Stendi, veido Irbi, kas ietek jūrā pie Lielirbes; (5) Engures upe iztek no Usmas ezera un tek caur Puzes ezeru, līdz savienojas ar Stendi, veidojot Irbi. Mūsdienās lietotais variants – Engures upe iztek no Usmas ezera un ietek Puzes ezerā, no kura iztek Rindas upe, kas pēc saplūšanas ar Stendes upi veido Irbes upi, kas ietek jūrā – pirmoreiz ir parādīts etnogrāfa un kartogrāfa Matīsa Siliņa zīmētā kartē, kas publicēta viņa izdotajā «Atbalss kalendārā» 1890. gadā. Bet vai tas ir pareizākais un loģiskākais variants?

Līdz 18. gs. vidum kartēs Engures grīva konsekventi tiek attēlota starp Ventas grīvu un Ovišragu. Turpat jūras tuvumā ir attēlota Angermindas bīskapa pils. Vēl šajās kartēs ir parādīta mīklaina upe bez nosaukuma, kas tek cauri vai gar Dundagu un ietek jūrā starp Lielirbi un Kolkas ragu. Pašreizējā situācija ar Irbes upes ieteku jūrā starp Ovišragu un Kolkas ragu pirmo reizi ir parādīta Kurzemes hercoga galma mērnika Tobiasa Krauzes 1640. gadā sastādītajā Puzes, Popes un Ventspils muižu robežas regulēšanas plānā un 1702. gadā pēc Zviedrijas karaļa Kārļa XII rīkojuma sastādītā Kurzemes hercogistes kartē. Jautājums – vai iepriekš attēlotā situācija ir kartogrāfu kļūda vai arī senatnē tiešām ir notikusi tik nozīmīga galvenās Ziemeļkurzemes upes gultnes izmaiņa. Ticamāka ir pirmā versija, bet apskatāmi ir arī argumenti par labu otrajai versijai, jo gultnes maiņa Latvijas jūras piekrastes upēm ir pazīstama parādība.

Zigatezers (arī Zigatu ezers, Zigātezers, Žigatu ezers, Žīgatu ezers, Līgatezers) ir ezers Ventspils novada Ances pagasta ziemeļrietumos Irbes upes līkumā, dabas lieguma "Ances purvi un meži" teritorijā. Pieejamos aprakstos minēts, ka ezers ir pārpurvojies vai pēc Otrā pasaules kara ezers ticis pilnībā nosusināts, bet tas nav taisnība un ar savu uzvedību ezers ir pievērsis pētnieku uzmanību jau sen (Bittner, 1864; Smilga, 1935). Zigates ezers pa laikam uz vairākiem mēnešiem piepildās ar ūdeni un pēc tam atkal iztukšojas. Pētnieku senāk aptaujātie apkārtnes iedzīvotāji apgalvoja, ka tas notiek

reizi 7 gados, bet mūsdienās vairs nav vērojama tāda regularitāte. Izskatot Sentinel-2 satelītuzņēmumus, var secināt, ka ka Zigatezers ir bijis pilnīgi piepildīts no 2018. gada marta līdz novembrim, no 2020. gada marta līdz septembrim, no 2022. gada februāra līdz septembrim, no 2024. gada janvāra līdz augustam; daļēji piepildīts – 2017. gada aprīlis-jūnijs, 2019. gada marts-jūnijs, 2023. gada marts-jūnijs. Ezers ir bijis pilnīgi tukšs 2016., 2018. un 2021. gados. Izmantojot Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģenturas atvērtos aerolāzerskenēšanas datus, tika veikta ezera piepildīšanas imitācijas 3D modelēšana, kura noskaidroja, ka lai pilnībā piepildītu ezeru līdz 132 300 m³ tilpumam, nokrišņu daudzumam tā apkārtnē jābūt vismaz 232 mm. Summārā klimatiskā norma novērotajā ezera piepildīšanas laikā janvāris-marts ir 130-140 mm, kas ir nepietiekoši un norāda, ka ezers ūdeni saņem no ārējiem avotiem. Mīkla ir – no kādiem?

Pētījums tiek īstenots Norvēģijas Grantu klimata un vides 2014.-2021. gada perioda programmas “Klimata pārmaiņu mazināšana, pielāgošanās tām un vide” iepriekš noteiktā projekta “Ilgtspējīgas augsnes resursu pārvaldības uzlabošana lauksaimniecībā” (LV-CLIMATE-0002) ietvaros. Vienas no aktivitātēm mērķis ir sniegt kūdraugšņu sastopamības varbūtību lauksaimniecībā izmantojamās zemēs ik pikselim, kas nedrīkst būt lielāks par 0,1 ha.

Izmantotā literatūra

Bittner, J.G. 1864. Der See Schiggatte in Popen. *Sitzungs-Berichte der kurländischen Gezellzchaft für Literatur und Kunzt aus den Jahren 1850 bis 1863*, J. F. Staffenhagen und Sohn, Mitau.

Brūderis, A., Lukss I. 1991. No Usmas līdz jūrai. Ūdenstūrisma ceļvedis pa Irbes baseina upēm un ezeriem. Latvijas enciklopēdiju redakcija.

Smilga, V. 1935. Noslēpumainā Zigates ezera krastos. Žurnālista ceļojuma piezīmes. *Tēvijas Sargs*, 31, 02.08.1935.

Zinātnisko pētījumu atkārtojamība – CRAFTY ABM piemērs

Māris NARTIŠS, Karina STANKEVIČA

Latvijas Universitāte, e-pasts: maris.nartiss@lu.lv

Reproducibility reproducējamība – spēja iegūt vienādus rezultātus, atkārtojot eksperimentu, pētījumu vai analīzi (izmantojot tās pašas metodes, datus un procedūras, kas izmantotas sākotnēji)¹.

Replicability atkārtojamība – vienādos apstākļos pēc vienas metodes veiktu eksperimentu rezultātu sakritība². Oriģinālais pētījums tiek atkārtots pēc iespējas precīzāk un iegūtie rezultāti tiek salīdzināti ar oriģinālajiem rezultātiem, un tiek izvērtēts, vai oriģinālajā pētījumā dotie secinājumi joprojām var palikt spēkā. Variācijas datorbāzētiem eksperimentiem – vai izmanto to pašu programmatūru un datus, vai arī izstrādā jaunu programmatūru, iegūst jaunus datus.

2016. gadā Bakere (Baker, 2016) ziņoja, ka 70% aptaujāto zinātnieku bija nesekmīgi mēģinājuši replicēt kāda cita pētnieka publicētos rezultātus, kā arī pusei nebija izdevies atkārtoti iegūt pašu ziņotos rezultātus. Belza un kolēģu (Belz et al., 2021) metapētījums uzrādīja, ka 60% gadījumu dabīgās valodas analīzē eksperimentu atkārtošana deva sliktāku rezultātu, piedevām vairākos gadījumos rezultātu nebija iespējams iegūt, jo oriģinālo autoru dotais programmatūras kods vispār nestrādāja. Bieži vien pat nelielas atšķirības programmu kodā deva būtisku atšķirību rezultātos. Līdzīgi rezultāti ziņoti arī citās zinātnes nozarēs – psiholoģijā sekmīgi atkārtot izdodas 68% (Open Science Collaboration, 2015) vai mazāk (Nosek et al., 2022); molekulārās bioloģijas sistēmu modelēšanā – 51% (Tiwari et al., 2021). Autoriem nav zināms neviens plašs pētījums par atkārtojamību ģeo-zinātnēs. Atsevišķi autori (Goodchild, Li, 2021) uzskata, ka lielākajā daļā ģeo-zinātņu tieša atkārtojamība pat nav iespējama, taču neizslēdz reproducējamību (skatīt diskusiju par ģeogrāfijas īpašo vietu citu zinātņu vidū).

Datorbāzētus eksperimentus vajadzētu varēt reproducēt perfekti, taču tad vajag pieeju eksperimenta datiem un pirmkodam. Savukārt atkārtošanai vajadzētu būt iespējamai arī bez eksperimenta programmu pirmkoda. Eksistē vairāki standarti kā aprakstīt datorbāzētos eksperimentus, lai uzlabotu to atkārtojamību. Aģentu bāzētajiem modeļiem (ABM) 2006. gadā tika rekomendēts ODD (angl. *Overview, Design concepts, and Details*) protokols (Grimm et al., 2006), kas ir plaši akceptēts modelētāju vidū.

CRAFTY (angl. *Competition for Resources between Agent Functional Types*) ir aģentu bāzēts zemes lietojuma un seguma modelēšanas ietvars (Murray-Rust, 2014). CRAFTY modelī zemes lietojuma veidi savā starpā sacenšas par zemes gabalu (rastra šūnu) pārvaldīšanu. Uzvar zemes lietojums, kas vislabāk spēj apmierināt (ārēja) tirgus pieprasījumu pēc dažādiem (ekosistēmu) pakalpojumiem, ko var iegūt no konkrētā zemes gabala resursiem. CRAFTY ir sarakstīts Java programmēšanas valodā. Parasti CRAFTY tiek adaptēts katram no pētījumiem, lai labāk pielāgotos pētījuma specifikai. Jaunākā versija, kas šobrīd tiek aktīvi attīstīta, ir CRAFTY-UI.

PyReCRAFTY ir CRAFTY bāzes modeļa implementācija Python valodā izmantojot Repast4Py (Collier, Ozik, 2022) ABM programmēšanas ietvaru. Realizēta lielākā daļa CRAFTY funkcionalitātes, ieskaitot CRAFTY-UI projektu datu ielādi. Jāpiebilst, ka CRAFTY-UI nespēj ielādēt projektus, kas ir veidoti priekš vecākām CRAFTY vai CRAFTY-UI versijām, kas apgrūtina

¹ <https://tezaurs.lv/reproduc%C4%93jam%C4%ABba>

² <https://tezaurs.lv/atk%C4%81rtojam%C4%ABba>

eksperimentu reproducēšanu, savukārt PyReCRAFTY spēj nolasīt daļu no priekš vecākām CRAFTY-UI versijām veidotajiem projektiem.

CRAFTY modelī atsevišķās vietās tiek izmantots gadījumu skaitļu ģenerators (Murray-Rust 2014), kas neļauj modeļa rezultātiem būt pilnībā deterministiskiem, kas tādējādi imitē modelī neiekļauto faktoru ietekmi uz modelēšanas rezultātu. Tas savukārt nozīmē, ka katras simulācijas rezultāts atšķiras no citiem, lai gan ievades dati un kontrolējošie parametri ir identiski. Līdz ar to simulāciju rezultātus nav iespējams salīdzināt savā starpā tiešā veidā, bet var tikai pastarpināti – darbinot modeli daudzas reizes un tad rēķinot rādītājus no iegūto rezultātu kopas. Vienkāršākais ir salīdzināt zemes lietojuma veida aizņemto platību vidējās vērtības, taču šāda pieeja neņem vērā telpisko komponenti. Tā vietā abu CRAFTY modeļa realizāciju salīdzināšanai vienā simulācijas solī (gadā) katras rastra šūnas visas vērtības tika interpretētas kā kopa, ko tad jau var salīdzināt ar kopu mēriem – entropiju, informācijas daudzumu, Žakāra indeksu u.tml. Dotajiem rādītājiem pēc tam ir iespējams izrēķināt vidējās vērtības un izkliedes rādītājus visā pētījuma teritorijā, kas, lai arī ir netelpiski, satur telpisko komponenti, jo modeļa realizāciju salīdzināšana ir veikta telpiski.

Sākotnējais PyReCRAFTY un CRAFTY-UI salīdzinājums uzrādīja būtiskas atšķirības rezultātos, ko nevarēja izskaidrot tikai ar iepriekš minēto gadījuma skaitļu lietojumu simulācijas procesā. Rūpīga abu risinājumu analīze uzrādīja, ka CRAFTY-UI satur vairākas būtiskas kļūdas, kuru novēršana ļāva rezultātiem kļūt līdzīgiem, taču ne identiskiem. Cēlonis atšķirībai arī pēc būtisko kļūdu novēršanas pagaidām nav noskaidrots.

PyReCRAFTY izstrādes laikā iegūtā pieredze liecina, ka ar ODD vien nepietiek, lai varētu izveidot modeli, kas precīzi atkārtotu oriģinālu. ODD var nesaturēt kādas nelielas nianses, kas tomēr var ietekmēt gala rezultātu, kā arī neļauj atklāt kļūdas oriģinālajā modeļa realizācijā, tādēļ modeļu pirmkodam vajadzētu būt neatņemamai daļai no zinātnisko rezultātu publicēšanas.

PyReCRAFTY izstrāde veikta projekta „Towards Sustainable Land-use Strategies in the Context of Climate Change and Biodiversity Challenges in Europe (EUROPE-LAND)” ietvaros. Līg. nr. 101081307-2 LU reģ. nr. ZD2023/21484

Izmantotā literatūra

- Baker, M. 2016. 1,500 scientists lift the lid on reproducibility. *Nature*, 533, p. 452–454.
- Belz, A., Agarwal, S., Shimorina, A., Reiter, E. 2021. A Systematic Review of Reproducibility Research in Natural Language Processing. In: *Proceedings of the 16th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: Main Volume*, Association for Computational Linguistics, p. 381–393.
- Collier, N., Ozik, J. 2022. Distributed Agent-Based Simulation with Repast4Py. *Winter Simulation Conference (WSC)*, Singapore, 2022. pp. 192–206
- Goodchild, M.F., Li, W. 2021. Replication across space and time must be weak in the social and environmental sciences. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 118(35), e2015759118.
- Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., Eliassen, S., Ginot, V., Giske, J., Goss-Custard, J., Grand, T., Heinz, S.K., Huse, G., Huth, A., Jepsen, J.U., Jørgensen, C., Mooij, W.M., Müller, B., Peter, G., Piou, C., Railsback, S.F., Robbins, A.M., Robbins, M.M., Rossmanith, E., Rüger, N., Strand, E., Souissi, S., Stillman, R.A., Vabø, R., Visser, U., DeAngelis, D.L. 2006. A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling*, 198, p. 115–126.
- Murray-Rust, D., Brown, C., van Vliet, J., Alam, S.J., Robinson, D.T., Verburg, P.H., Rounsevell, M. 2014. Combining agent functional types, capitals and services to model land use dynamics. *Environmental Modelling & Software*. 59, p. 187–201.

- Nosek, B.A., Hardwicke, T.E., Moshontz, H., Allard, A., Corker, K.S., Dreber, A., Fidler, F., Hilgard, J., Struhl, M.K., Nuijten, M.B., Rohrer, J.M., Romero, F., Scheel, A.M., Scherer, L.D., Schönbrodt, F.D., Vazire, S. 2022. *Replicability, Robustness, and Reproducibility in Psychological Science*, 73, p. 719-748.
- Open Science Collaboration. 2015. Estimating the reproducibility of psychological science. *Science*, 349(6251).
- Tiwari, K., Kananathan, S., Roberts, M.G., Meyer, J.P., Shohan, M.U.S., Xavier, A., Maire, M., Zyoud, A., Men, J., Ng, S., Nguyen, T.V.N., Glont, M., Hermjakob, H., Malik-Sheriff, R.S. 2021. Reproducibility in systems biology modelling. *Molecular Systems Biology*, 17(2).

Ģeotelpisko datu izmantošana hidroloģiskajā modelēšanā

Ieva SIKSNĀNE, Artūrs VEINBERGS

Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte, Meža un ūdens resursu zinātniskā laboratorija,
e-pasts: ieva.siksnane@lbtu.lv

Hidroloģiskais modelis ir vienkāršots esošo sistēmu (ietver virszemes un pazemes ūdeņu plūsmas) atainojums, kas palīdz izprast, prognozēt un pārvaldīt ūdens resursus. Hidroloģiskajos modeļos tiek analizēti kvantitatīvie un kvalitatīvie dati par esošo situāciju konkrētajā sateces baseinā. Hidroloģiskā modelēšanas praktiskais pielietojums ietver klimata pārmaiņu, sausuma un plūdu risku novērtēšanu, kā arī palīdz ūdens apsaimniekošanas stratēģiju izstrādei (Arnold et al., 1998).

Ģeotelpiskie dati ir neatņemama hidroloģiskās modelēšanas sastāvdaļa, jo tie nodrošina informāciju par reljefu, zemes segumu, augsnes īpašībām un hidroloģiju. Šie dati ir pamats precīzu un detalizētu modeļu izstrādei, kas palīdz ne tikai novērtēt esošo hidroloģiju sateces baseinā, bet arī prognozēt iespējamās hidroloģiskās izmaiņas (Arheimer et al., 2020).

Ģeotelpiskie dati hidroloģiskajā modelēšanā ietver:

1. reljefu: digitālie reljefa modeļi (DEM) tiek izmantoti, lai noteiktu sateces baseinu teritorijas, identificētu ūdens plūsmas virzienus, kā arī plūsmas ātrumu, ņemot vērā reljefa slīpumu;
2. augsnes īpašības: dati ļauj noteikt ūdens infiltrācijas spējas, kas ir būtisks parametrs virszemes un gruntsūdens plūsmu modelēšanai;
3. zemes izmantošanas veidu analīze: nodrošina informāciju par raksturīgo zemes izmantošanas veidu, kas būtiski ietekmē ūdens bilanci;
4. hidroloģisko tīklu: upju un ezeru atrašanās vietas, kā arī informācija par raksturīgajiem caurplūdumiem pētījuma periodā tiek izmantota modeļu kalibrēšanai un validācijai (Arnold et al., 1998);
5. klimata datus: summāro nokrišņu un vidējās temperatūras dati tiek izmantoti meteoroloģisko apstākļu raksturošanai (Bar-Michalczyk et al., 2008).

LBTU ietvaros hidroloģiskie modeļi tiek pielietoti dažādos mērogos: drenu lauka izpētes līmenī (tiek noteikta augu barības vielu noplūde, kuru ietekmē dažādu lauksaimniecības kultūru īpašības, mēslojuma pielietošana un augsnes apstrādes veidi), mazā sateces baseina izpētes līmenī (vismaz 50% no sateces baseina teritorijas ir lauksaimniecības zemes) un upes izpētes līmenī (ietver pētījumus maza ($< 100 \text{ km}^2$) un vidēja sateces baseina ($100 - 1000 \text{ km}^2$) upēs).

Hidroloģiskās modelēšanas programmas, kas tiek izmantotas datu apstrādei ir: SWAT+ (Soil and Water Assessment Tool) un HYPE (Hydrological Predictions for the Environment). Abās programmās kā pamats tiek izmantoti ģeotelpiskie dati, kas nodrošina esošās situācijas precīzu atspoguļojumu.

Galvenie ģeotelpiskie dati ietver:

- digitālo reljefa modeļi (DEM);
- hidroloģisko tīklu;
- sateces baseinu robežas;

- augsnes tipu karte;
- zemes izmantošanas veidu karte;
- dati par ezeru atrašanās vietām;
- meliorācijas sistēmas;
- NAI atrašanās vietas.

Ģeotelpisko datu izmantošana būtiski uzlabo hidroloģisko modeļu precizitāti un prognozēšanas ticamību, ļaujot simulēt gan ūdens resursu izmaiņas laikā, gan izstrādāt piemērotas apsaimniekošanas stratēģijas. Ģeotelpisko datu izmantošana kopā ar tālīzpētes tehnoloģijām ļauj veidot visaptverošus scenārijus, kas ņem vērā gan dabiskās, gan antropogēnās izmaiņas. Šāda pieeja nodrošina efektīvu risinājumu izstrādi plūdu riska mazināšanai, lauksaimniecības ietekmes novērtēšanai un ūdens resursu ilgtspējīgai pārvaldībai.

Izmantotā literatūra

- Arheimer, B., Pimentel, R., Isberg, K., Crochemore, L., Andersson, J. C. M., Hasan, A., and Pineda, L., 2020. Global catchment modelling using World-Wide HYPE (WWH), open data, and stepwise parameter estimation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 24, 535–559, <https://doi.org/10.5194/hess-24-535-2020>.
- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 34 (1), 73–89. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>.
- Bar-Michalczyk, D., Michalczyk, T., Witczak, S., & Żurek, A. J. 2018. Evaluating the HYPE model for estimating groundwater recharge in a groundwater dominated catchment in Poland. *Geology, Geophysics and Environment*, 43(3), 171. <https://doi.org/10.7494/geol.2017.43.3.171>.

Brīvpieejas Sentinel-2 satelītdatu pielietojums zālāju biotopu monitoringā

Juris SOMS

Daugavpils Universitāte; Dabas aizsardzības pārvalde, e-pasts: juris.soms@du.lv

Mozaīkveida ainavas Latvijā, kuru neatņemama sastāvdaļa ir pļavas un ganības, izveidojušās ilgstošā mijiedarbībā starp dabas faktoriem un cilvēku ietekmi. Tieši pļavas un ganības kā daļēji dabiskas zālāju ekosistēmas ir vieni no biodaudzveidības ziņā bagātākajiem biotopu veidiem mūsu valstī, kuros sastopamas vairāk nekā 500 ziedaugu sugas, turklāt 40 % no tām iekļautas īpaši aizsargājamo sugu sarakstā (Rūsiņa, 2007). Vērtējot pēc sugu skaita, tieši zālāju biotopos sastopamas gandrīz 1/3 daļu Latvijas floras ziedaugu sugu (Priedītis, 2014).

Tomēr Eiropā un Latvijā zālāju biotopus skārušas negatīvas pārmaiņas, kuru cēlonis ir intensīvās lauksaimniecības pastiprināšanās un iedzīvotāju skaita samazināšanās laukos. Tā pļavu un ganību tradicionālo apsaimniekošanas veidu un arī zemes izmantošanas izmaiņu ietekmē ir samazinājušās un turpina samazināties daļēji dabisku zālāju ekosistēmu aizņemtās platības un notiek attiecīgo dzīvotņu fragmentācija (Dengler et al., 2020). Tas, savukārt, rada draudus ar šīm dzīvotnēm saistīto augu, kukaiņu, putnu un citu sugu eksistencei un kopumā ietekmē bioloģiskās daudzveidības samazināšanos (Deák et al., 2020). Tādēļ Eiropas Savienībā pēdējās desmitgadēs arvien lielāka uzmanība tiek pievērsta tādu daļēji dabisko dzīvotņu kā pļavas un ganības saglabāšanai un atjaunošanai (piemēram, Waldén and Lindborg, 2018; Rūsiņa et al., 2024). Turklāt, zālāju biotopu saglabāšana un aizsardzība tiešā veidā izriet arī no ES rīcībpolitikas biodaudzveidības jomā un atbilstoši Eiropas Komisijas 1997.gada 18.novembra vadlīnijās Hab.97/2 rev.4 minētajiem principiem (Anon., - Hab. 97/2 rev., 1997). Papildus tam, jautājuma aktualitāti arī akcentē fakts, ka dabisko pļavu platības aizņem vairs tikai ~0,7 % no valsts teritorijas, un turklāt vairāk kā puse to platības atrodas ārpus īpaši aizsargājamo dabas teritoriju Natura 2000 tīkla (Ozols, 2025).

Šādā kontekstā gan ES kopumā, gan nacionālā līmenī ir nepieciešama gan zālāju biotopu inventarizācija, gan to monitorings tādā kapacitātē, kas pārsniedz Natura 2000 ietvaru. Konvencionālā pieeja, kad zālāju biotopu monitoringu *in-situ*, t.i. dabā veic eksperti un inspektori, diemžēl nenodrošina šādu kapacitāti. Iespējamais risinājums ir tālīzpētes metodes, kuras pēdējo desmitgadu laikā arvien plašāk tiek izmantotas zālāju ekosistēmu monitoringam, jo tās nodrošina pieejamus un uzticamus datus ar pietiekami augstu telpisko un laika izšķirtspēju (Andreatta et al., 2022). Jāatzīmē, ka tālīzpētes tehnoloģiju pielietojuma zālāju monitoringa jomā kvantitatīvā analīze parāda, ka satelītu platformu izmantošanā atklājas Sentinel-2 pieaugošā nozīme – faktiski kopš 2020. gada tā ir visvairāk izmantotā satelītu platforma šajā jomā (Pinna et al., 2024).

Līdz ar to, pētījuma sākumposmā, kā tālīzpētes datu avots zālāju biotopu monitoringam tika izvēlēti brīvpieejas Sentinel-2 satelītdati. Ar 13 spektrālām joslām no 443 līdz 2190 nm, ar augstu telpisko izšķirtspēju (10 m) un ar satelītainu atkārtotas ieguves periodu 5 dienas, turklāt ar to publisku pieejamību bez maksas – tas padara Sentinel-2 par daudzpusīgu un ļoti piemērotu datu avotu ekosistēmu pētījumiem un monitoringam (Hartmann et al., 2023). Tā kā zālāju biotopu degradācijas biežāk konstatētais iemesls Latvijā ir to uzaršana (Ozols, 2025), tad viens no galvenajiem tehniskajiem jautājumiem zālāju monitoringam ar satelītdatu palīdzību ir pareizi identificēt iespējamās izmaiņas zemes segumā un nodrošināt atbilstošu jaunā seguma veida identificēšanu (Saah et al., 2019). Lai to paveiktu, pētījumā tika izmantotas Sentinel-2 divas RAW datu joslas – B04 ar

vidējo viļņa garumu 665 nm (sarkanā spektra josla) un B08 ar vidējo viļņa garumu 842 nm (tuvējā infrasarkanā spektra josla). Šo divu joslu satelīt dati rastra formātā tika izmantoti NDVI jeb normalizētās atšķirības veģetācijas indeksa (angl. Normalized Difference Vegetation Index) aprēķinam un atvasināta rastra datu slāņa iegūšanai ArcGIS Pro vidē. Papildus tam, vizuālās analīzes nolūkos, tika izmantoti arī Sentinel-2 izmainīto krāsu (angl. *false color image*) satelītattēli, kur uzartos zālājus varēja identificēt pēc krasa atstarojuma krituma tuvējo infrasarkanā staru diapazonā un attiecīgi sarkanā krāsojuma iztrūkuma, kas parasti raksturīgs aramzemei, turpretī veģetācijai ir raksturīgs izteikts sarkans krāsojums. Zālāju biotopu ģeotelpisko dati tikai iegūti no dabas datu pārvaldības sistēma "Ozols". Daļēju informāciju par zālāju statusu var izgūt arī no Lauku atbalsta dienestā pieejamiem datiem par lauku blokiem un tajos deklarētajiem kultūraugiem, respektīvi, kods 710 norāda uz ilggadīgiem zālājiem. Datu izguvei tika izmantots LAD piedāvātais tīmekļa ģeotelpisko datu serviss (Web Feature Service jeb WFS – LAD, 2025). ArcGIS Pro vidē, šķēlot zālāju biotopu un lauku bloku vektordatus, tika konstatēti tie poligoni, kuriem ir cits kultūru kods, nevis 710, piemēram, 112 – ziema kvieši, vai 211 – vasaras rapsis un tml. Izlases veidā šajos poligonos tika veikta NDVI rastra datu vērtību salīdzināšana konkrēta gada pavasarī ar šī paša poligona NDVI vērtībām iepriekšējā gada pavasarī. Kā robežvērtības tika izmantotas NDVI > 0,5 (dabiska veģetācija), 0,3 < NDVI < 0,5 (sausuma traucēta veģetācija; nopļauts siens, smalcināts siens, kūla) un 0,0 < NDVI < 0,3 (aramzeme, norakta zemes virsma). Lai pārliicinātos par Sentinel-2 datu analīzes gaitā identificētajiem zālāju iznīcināšanas gadījumiem, selektīvi tika veikta teritoriju apsekošana Elkšņu pagastā, Dienvidsusējas pļavās, Bērziņu pagastā, Plēčovu pļavās un Vecumnieku pagastā, Zvirgzdes pļavās. Tas nodrošināja ĢIS analīzes gaitā iegūto rezultātu validāciju, to realizējot gan inspekcijas veidā dabā, gan veicot aerofotografēšanu ar bezpilota gaisa kuģi DJI Mavic 2.

Satelītu Sentinel-2 platformas brīvpieejas datu izmantošanas aprobācija parāda, kas tos var veiksmīgi izmantot zālāju biotopu monitoringā. Tālīzpētes datu un ĢIS risinājumu izmantošana aparto zālāju identificēšanā būtiski samazina resursu un laika patēriņu, salīdzinot ar konvencionālajām lauka apsekošanas metodēm. Procesa automatizēšanai, lai regulāru monitoringu varētu veikt nacionālā līmenī, nepieciešams veikt Sentinel-2 ainu bezmākoņu mozaīkas sagatavošanu visas valsts teritorijai, fokusējoties uz laika rindām tikai pavasara un rudens sezonās, kad ir iespējams rastra datu ĢIS analīzē konstatēt aramzemi vietā, kur iepriekš ir bijis zālājs. Turpmākā darba gaitā, pilnveidojot rastra datu korektas klasificēšanas metodoloģiju, noteikti ir jāveic pētījumi, izmantojot arī citus atvasinātos indeksus zemes virsmas seguma vai veģetācijas rakstura izmaiņu identificēšanai. Piemēram NDVI Red-Edge–Red (NDVI-RE-R) indeksu NDVI NIR–Red-Edge (NDVI-NIR-RE) indeksu u.c.

Izmantotā literatūra

- Andreatta, D., Gianelle, D., Scotton, M., Vescovo, L., Dalponte, M., 2022. Detection of grassland mowing frequency using time series of vegetation indices from Sentinel-2 imagery. *GIScience & Remote Sensing*, 59(1), 481-500.
- Anon., 1997. Criteria for Assessing National Lists of pSCI at Biogeographical Level. Hab. 97/2 rev. 4 18/11/97. pieejams: https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-be/activities/hab_97_2_criter_en.pdf/view.
- Deák, B., Valkó, O., Nagy, D.D., Török, P., Torma, A., Lőrinczi, G., Kelemen, A., Nagy, A., Bede, Á., Mizser, S., Csathó, A.I., Tóthmérész, B., 2020. Habitat islands outside nature reserves – Threatened biodiversity hotspots of grassland specialist plant and arthropod species. *Biological Conservation*, 241, e 108254.
- Dengler, J., Birge, T., Bruun, H.H., Rašomavičius, V., Rūsiņa, S., Sickel, H., 2020. Grasslands of Northern Europe and the Baltic States. In: Goldstein M.I., DellaSala D.A. and DiPaolo, D.A. (Eds.), *Encyclopedia of the World's Biomes*. Amsterdam, Elsevier, pp. 689-702.

- Hartmann, A., Sudmanns, M., Augustin, H., Baraldi, A., Tiede, D., 2023. Estimating the temporal heterogeneity of mowing events on grassland for haymilk-production using Sentinel-2 and greenness-index. *Smart Agricultural Technology*, 4, e 100157.
- LAD, 2025. Lauku atbalsta dienests. Lauku reģistra dati. Pieejams: <https://www.lad.gov.lv/lv/lauku-registra-dati> [skatīts 2025.01.04]
- Ozols, 2025. Dabas aizsardzības pārvalde. Dabas datu pārvaldības sistēma "Ozols". pieejams: <https://ozols.gov.lv/pub> [skatīts 2025.01.08]
- Pinna, D., Pezzuolo, A., Cogato, A., Pornaro, C., Macolino, S., Marinello, F., 2024. Applications of satellite platforms and machine learning for mapping and monitoring grasslands and pastures: A systematic and comprehensive review. *Smart Agricultural Technology*, 9, e 100571.
- Priedītis, N., 2014. Latvijas augi. Rīga, Gandrs, 888 lpp.
- Rūsiņa, S., 2007. Latvijas mezofīto un kserofīto zālāju daudzveidība un kontaktsabiedrības. *Latvijas Veģetācija*, 12, 1–366.
- Rūsiņa, S., Lakovskis, P., Ieviņa, L., 2024. Semi-natural grassland abandonment in relation to agricultural land management under Common Agricultural Policy in boreonemoral Europe. *Agronomy Research*, 22(1), 253–273.
- Saah, D., Tenneson, K., Matin, M., Uddin, K., Cutter, P., Poortinga, A., Nguyen, Q.H., Patterson, M., Johnson, G., Markert, K., Flores, A., 2019. Land cover mapping in data scarce environments: Challenges and opportunities. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 150.
- Waldén, E., Lindborg, R., 2018. Facing the future for grassland restoration – What about the farmers? *Journal of Environmental Management*, 227, 305–312.