

**LATVIJAS UPJU GADA MAKSIMĀLĀ CAURPLŪDUMA APJOMA UN TĀ  
IESTĀŠANĀS DATUMA SEZONĀLĀS UN ILGTERMIŅA IZMAIŅAS**  
**Elga APSĪTE<sup>1</sup>, Didzis ELFERTS<sup>2</sup>, Agrita BRIEDE<sup>1</sup>, Jānis Lapinskis<sup>1</sup>, Līga KLINTS<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, e-pasts:

[Elga.Apsite@lu.lv](mailto:Elga.Apsite@lu.lv); [Agrita.Briede@lu.lv](mailto:Agrita.Briede@lu.lv); [Janis.Lapinskis@lu.lv](mailto:Janis.Lapinskis@lu.lv)

<sup>2</sup> Latvijas Valsts mežzinātnes institūts “Silava”, e-pasts: [didzis.elferts@silava.lv](mailto:didzis.elferts@silava.lv)

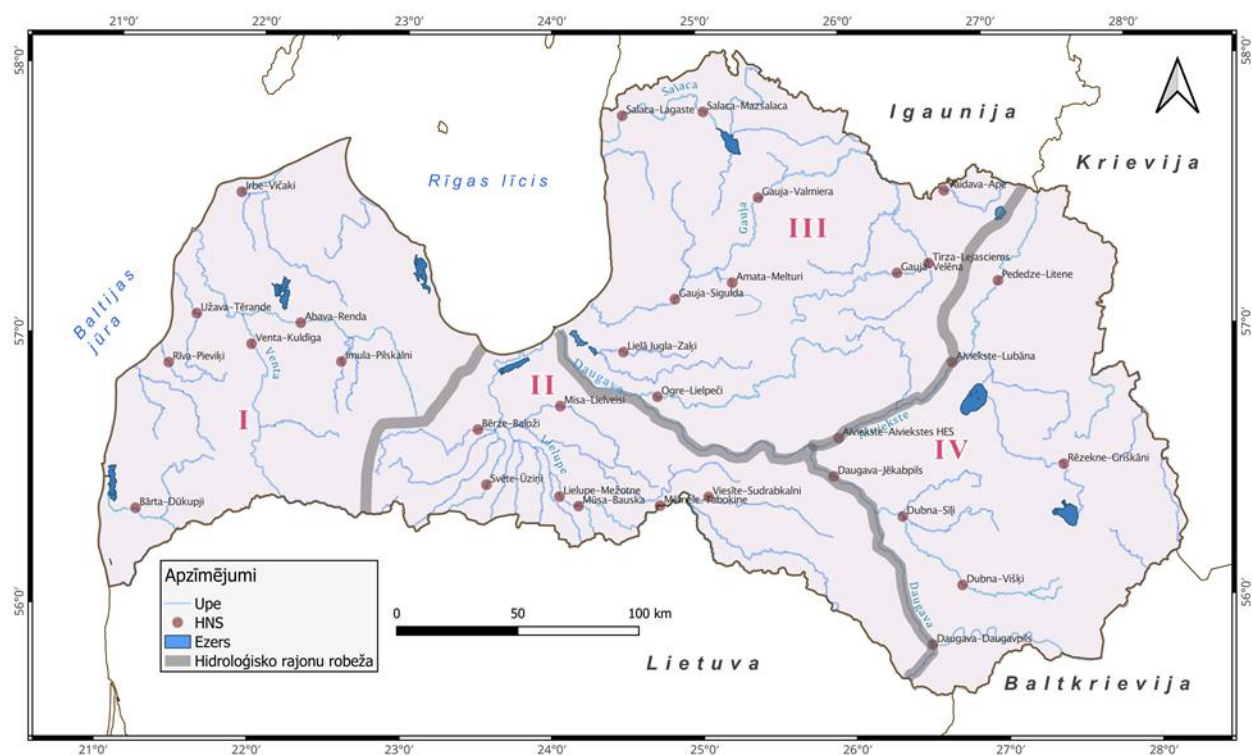
<sup>3</sup> Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs, e-pasts: [liga.klints@lvgmc.lv](mailto:liga.klints@lvgmc.lv)

Plūdu ietekme izpaužas divējādi uz cilvēku - sociāli un ekonomiski, kā arī uz ekosistēmām (piemēram, ekoloģisko stāvokli un piesārņojuma izplatīšanos). Mūsdienu klimata pasiltināšanās izmaina plūdu sezonalitāti no sniega kušanas dominantes uz sniega-lietus dominanti upju hidroģiskajā režīmā mērenajos platuma grādos, kas ietekmē ūdens apsaimniekošanas stratēģiju – plūdu riska mazināšanu, dzeramā ūdens nodrošināšanu un hidronerģētiku (Matti et al., 2017; Bari et al., 2023). Visbiežāk plūdu analīzē izmanto hidroģisko parametru kā gada maksimālo caurplūdumu. Mūsu pētījuma mērķis ir noskaidrot Latvijas upju gada maksimālā caurplūduma apjoma un tā iestāšanās datuma sezonālās un ilgtermiņa izmaiņu tendences un reģionālās īpatnības no 1950./51.-2021./22. hidroģiskajam gadam.

Pētījumā datu analīzē pamatā izmantots gada maksimālais caurplūdums ( $Q_{max}$ ,  $m^3s^{-1}$ ) un tā iestāšanās datums (laiks). Datu laika rindas analizētas ar statistiskajām metodēm. Sezonalitātes analīzē izmantoti matemātiskie aprēķini (procentos un procentpunktos) un cirkulārā jeb virziena statistika pēc Releja testa (Rayleigh test), kur dati apstrādāti ar datorprogrammatūru “R” 4.3.2.versiju (R Core Team, 2023). Savukārt trendu statistikā izmantotas trīs metodes: “Teila-Sena metode” (Theil-Sen method) trenda slīpuma un “Manna-Kendala tests” (Mann-Kendal test) trenda aprēķināšanai katrai hidroģiskajai novērošanas stacijai (HNS) ar datorprogrammatūru “MAKENSENS” (Salmi et al., 2002), kā arī “Valkera tests” (Walker test) trenda statistikas aprēķināšanai reģionālajā līmenī (Wilks, 2006). Visiem testiem nozīmības līmenis noteikts pie  $\alpha < 0,05$ .

Pētījums veikts par 32 upju HNS datu laika rindām, kuras sadalās pa četriem hidroģiskajiem rajoniem pēc L. Glazačevas (Glazacheva, 1980): Rietumu, Centrālais, Ziemeļu un Austrumu (1.att.); kā arī trijos pētījuma periodos: 1950./51.-2021./22. – ietver visu periodu; 1950./51.-1986./87. – periods, kur klimata pārmaiņas ir nebūtiskas un 1987./88. -2021./22. – periods ar būtisku klimata pārmaiņu ietekmi uz upju noteci, kur 1987. gads tiek saukts par “lūzuma punktu”

hidroklimatiskajās datu rindās (Kļaviņš et al, 2007; Briede et al., 2022). Ar sezonu tiek saprasts trīs mēnešu kopums, kā parasti to izmanto hidroklimatiskajos pētījumos: pavasaris (MAM), vasara (JJA), rudens (SON) un ziema (DJF). Šajā pētījumā izmantots hidroloģiskais gads, kas sākas ar tekošā gada 1. oktobri un beidzas nākamā gada 30. septembrī (International Glossary of Hydrology, World Meteorological Organization No 385). Ikdienas caurplūduma dati iegūti no Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra datu bāzes. Iztrūkstošie dati iegūti no kompaktdiska (Zīverts un Strūbergs, 2000) un lineārās regresijas analīzes, kur determinācijas koeficients  $r^2 \geq 0,7$ .



1.attēls. Pētījumā izmantoto upju hidroloģisko novērošanas staciju (HNS) atrašanās vietas un hidroloģiskie rajoni: I – Rietumu; II – Centrālais; III – Ziemeļu un IV – Austrumu.

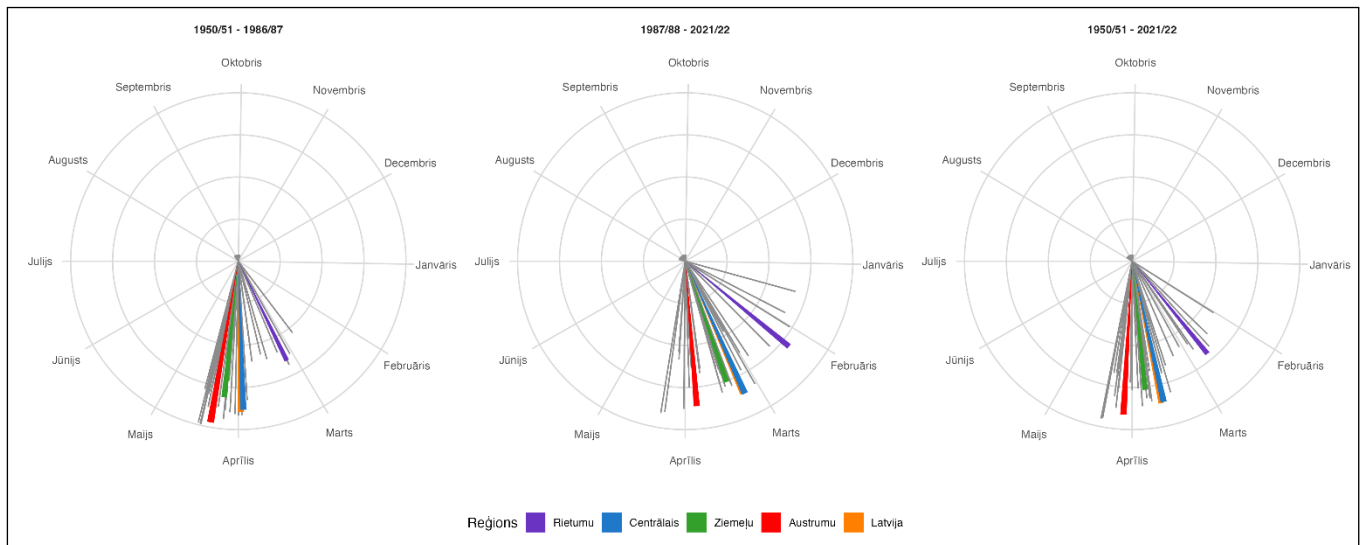
Gada  $Q_{max}$  novērojumu skaita izmaiņas pētījuma periodā no 1950./51.-1986./87. hidroloģiskajam gadam analīze parādīja, ka  $Q_{max}$  visvairāk Latvijas upēs ir iestājies aprīlī (56% gadījumu) un tā īpatsvars pieaug virzienā no rietumiem uz austrumiem. Respektīvi, vismazāk  $Q_{max}$  novērots Rietumu hidroloģiskā rajona (HR) upēm 39% no kopējā perioda novērojumu skaita, bet visvairāk – Austrumu HR 81%. Kā nākamais nozīmīgākais mēnesis ir marts no 11% Austrumu HR līdz 27% Rietumu HS un Latvijā kopumā – 18%. Gada  $Q_{max}$  vismazāk vai pat nemaz nav novērots vasaras mēnešos (jūnijā, jūlijā un augustā) visos HRs un sastāda no 0-0,8%. Ziemeļu HR  $Q_{max}$  gadījumu skaits ir nedaudz lielāks, salīdzinot ar pārējiem HR.

Var secināt, ka būtiska klimata pasiltināšanas ietekmes rezultātā uz upju noteci periodā no 1987./88.-2021./22. hidroloģiskajam gadam, Latvijā kopumā gada Qmax vēl joprojām visbiežāk novērots aprīlī (29%), tam seko marts (23%) februāris (15%) un janvāris (13%), maijs (4,8%) un decembris (4,6%). Salīdzinot hidroloģiskos rajonus, Austrumu un Ziemeļu HRs visbiežāk gada Qmax novērots aprīlī, attiecīgi par 42% un 36%. Savukārt Centrālajā HR – martā 31% un Rietumu HS februārī un janvārī, attiecīgi 22% un 21%. Visos HRs gada Qmax aizvien biežāk bija iestājies agrākos mēnešos, t.i., decembrī, janvārī, februārī un martā. Vismazāk gada Qmax gadījumu skaits bija novērots visos HRs vasarā un rudenī, attiecīgi 0-3,3% un 0-5,7% no kopējā novērojumu skaita pētījuma periodā.

Salīdzinot abus pētījuma periodus (t.i., 1987./88.-2021./22. pret 1950./51.-1986./87.), kā tas bija sagaidāms, tad vislielākās procentuālās izmaiņas Latvijas upēs ir konstatētas aprīlī, februārī un janvārī, attiecīgi par -33, 14 un 11 procentpunktiem. Aprīļa mēnesī vislielākais Qmax novērojumu skaita samazinājums bija Austrumu un Ziemeļu HRs (attiecīgi par -39 un -38 procentpunktiem), vismazākais - rietumu HR (-26 procentpunktiem). Savukārt lielākais novērojumu skaita pieaugums konstatēts februāra mēnesī Rietumu un Centrālajā HRs, attiecīgi par 22 un 19 procentpunktiem, bet martā Austrumu HR par 16 procentpunktiem un janvāra mēnesī Ziemeļu HR par 14 procentpunktiem.

Gada Qmax gadījuma mazākas skaita izmaiņas Latvijā kopumā novērotas vasaras un rudens mēnešos: pieaudzis – jūnijā (0,9 procentpunktiem), jūlijā (1,7), oktobrī (0,4) un novembrī (0,7), bet samazinājies – augustā (-0,1) un septembrī (-1,0). Novērojamas reģionālās atšķirības, piemēram, Rietumu HR Qmax gadījuma skaita daudzums ir samazinājies arī oktobrī un novembrī, attiecīgi par -1,5 un -2,0 procentpunktiem.

Izmantojot cirkulārās statistikas metodi pēc Releja testa, var noteikt gada Qmax sezonālītātes izteiktību (stiprumu), kuru nosaka pēc R vērtības (jeb rādiusa garuma). Tas ir, jo R vērtība ir tuvāk skaitlim viens, jo sezonālītāte ir vairāk izteikta (2. att.). Novērojuma periodā no 1987./88.-2021./22. hidroloģiskajam gadam mazākā vidējā R vērtība bija noteikta Rietumu HR ( $R=0,66$ ), tam seko Ziemeļu ( $R=0,81$ ), Centrālais ( $R=0,86$ ), Austrumu ( $R=0,97$ ), bet Latvijā kopumā  $R=0,90$ . Savukārt pēc gada Qmax vidējiem iestāšanās datumiem hidroloģiskie rajoni ir izkārtājušies šādā secībā: Rietumu HR – 5. marts, tam seko Centrālais – 29. marts, Ziemeļu – 6. aprīlis, Austrumu – 10. aprīlis un Latvijā kopumā vidēji – 30. marts.



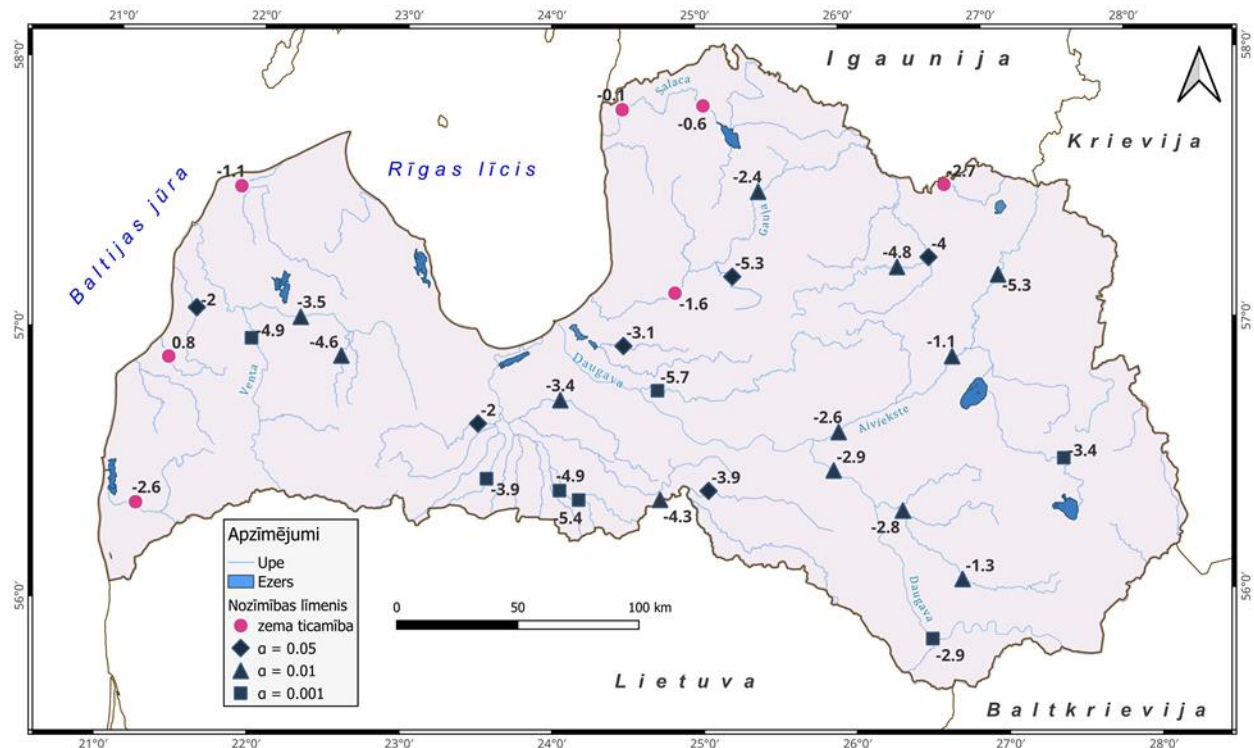
2.attēls. Cirkulārās statistikas metodes (pēc Releja testa) rezultāti.

Šāda hidroloģisko rajonu secība gan R garuma vērtībai, gan gada Qmax iestāšanās datumam saglabājas arī pārējos pētījuma periodos. Ja salīdzina pētījuma periodu 1987./88.-2021./22. pret 1950./51.-1986./87., tad gada Qmax R garuma vērtības ir nedaudz mazākas gandrīz visiem hidroloģiskajiem rajoniem un Latvijā kopumā, izņemot Rietumu HR. Savukārt gada Qmax iestāšanās vidējais datums novērots agrāk visiem hidroloģiskajiem rajoniem un Latvijā kopumā. Tas būtu skaidrojams ar to, ka paliek siltākas ziemas un pavasara pali novērojami ātrāk un to apjoms ievērojami samazinās. Turklāt pavasara palu veidošanās ir atkarīga no sniega kušanas un lietus ūdeņu komponentu izmaiņām.

Releja testa rezultāti parādīja, ka hipotēze par vienveidību tiek noraidīta un pastāv būtiska novirze no vienveidības visos pētāmajos baseinos ( $\alpha < 0,0001$ ). Tas parāda, ka gada Qmax pastāv izteikta sezonālitate visos Latvijas upju baseinos, kuriem raksturīgs sniega kušanas ūdeņu un jaukta tipa sniega kušanas, kā arī lietus ūdeņu noteces režīms ar izteiktu vienu pīķi gada hidrogrāfā un kuriem ir izteikta asimetrija.

Lai trenda statistikas rezultāti būtu salīdzināmi starp dažāda izmēra upju baseiniem, gada Qmax tika pārrēķināts par īpatnējo noteces moduli ( $M_{max}, Ls^{-1} km^{-2}$ ). Pēc Teila-Sena slīpuma metodes tika aprēķinātas trenda vērtības, kas parāda gada  $M_{max}$  apjoma izmaiņas desmitgadē. Pētījums parādīja, ka Latvijas upēm  $M_{max}$  apjoma trenda vērtības mainās no 0,8 (Rīva-Pievīķi) līdz -5,7 (Ogre-Lielpēči)  $Ls^{-1} km^{-2} dekādē^{-1}$  (3.attēls). Desmit upju novērojuma stacijās trenda vērtība bija vienāda vai lielāka par  $-4 Ls^{-1} km^{-2} dekādē^{-1}$ . Vislielākā vidējā trenda vērtība ir Centrālajam HR

( $-4 \text{ L/s}^{-1} \text{ km}^{-2} \text{ dekādē}^{-1}$ ) un Ziemeļu HR ( $-3 \text{ L/s}^{-1} \text{ km}^{-2} \text{ dekādē}^{-1}$ ), vismazākās – Rietumu un Austrumu HR, attiecīgi  $-2,6$  un  $-2,7 \text{ l/s}^{-1} \text{ km}^{-2} \text{ dekādē}^{-1}$ . Latvijā vidēji trenda vērtība sastādīja  $-3 \text{ L/s}^{-1} \text{ km}^{-2} \text{ dekādē}^{-1}$ .

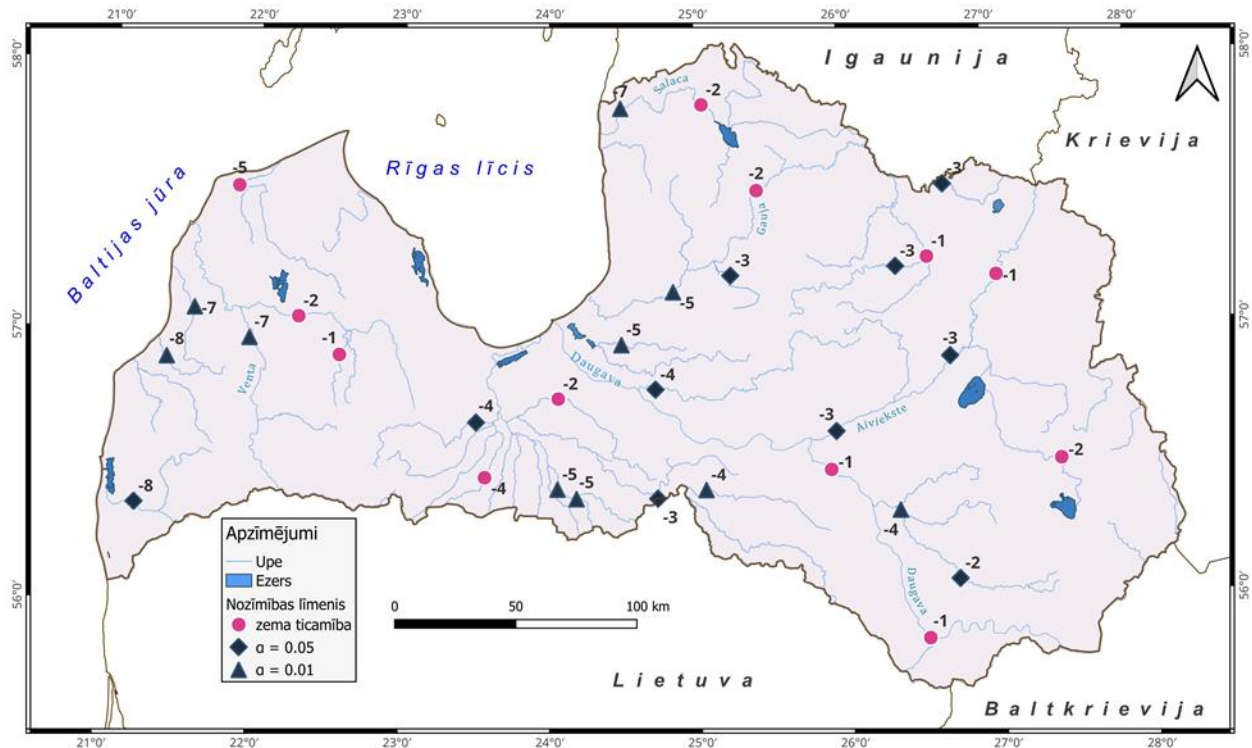


3.attēls. Gada Mmax apjoma trenda statistikas rezultāti, izmantojot Manna-Kendala testu (tumši zilo un rozā krāsu simboli) un Teila-Sena metodi (skaitļi pie simboliem). Ja vidējā trenda vērtība ir pozitīva, tad arī trends visās HNS būs pozitīvs un otrādi.

Manna-Kendella testa rezultāti parādīja (3. att.), ka visām pētītajām upēm gada Mmax apjoma trends ir negatīvs, izņemot Rīva-Pievīķi stacijai, kurai tas ir pozitīvs, bet statistiski nebūtisks trends. Divām Rietumu HR upju stacijām (Bārta-Dūkupji un Irbe-Vičaki) un četrām Ziemeļu HR upju stacijām (Gauja-Sigulda, Vaidava-Ape, Salaca-Lagaste un Salaca-Mazsalaca) trendi ir negatīvi un statistiski nebūtiski. Pārējās pētīto upju stacijās gada Mmax apjomam trendi bija negatīvi, statistiski būtiski pie  $\alpha < 0,05$  ticamības līmeņa, tas ir 81% gadījumos.

Kā redzams 4. attēlā, pēc Teila-Sena metodes Latvijas upēm gada Qmax iestāšanās datuma (dienu skaits no atskaites datuma 1. oktobra) trenda vērtības mainās no  $-1$  diena dekādē<sup>-1</sup> (Imula-Pilskalni, Daugava-Daugavpils un Daugava-Jēkabpils) līdz  $-8$  dienām dekādē<sup>-1</sup> (Bārta-Dūkupji un Rīva-Pievīķi). No 32 pētāmajām upju stacijām 9 stacijām ir trenda vērtība vienāda vai lielāka par  $-5$  dienām dekādē<sup>-1</sup>. Pētījums parādīja, ka vislielākā vidējā trenda vērtība bija Rietumu HR upēm ( $-6$

dienas dekādē<sup>-1</sup>), tam sekoja Centrālais un Ziemeļu HR (-4 dienas dekādē<sup>-1</sup>) un Austrumu HR (-2 dienas dekādē<sup>-1</sup>). Latvijā kopumā trenda vērtība sastāda -4 dienas dekādē<sup>-1</sup>. Tas būtu skaidrojams ar to, ka paliek siltākas ziemas un pavasara pali novērojami ātrāk, un to apjomi ievērojami samazinās ar mazāk vai vairāk izteiktu gradāciju no rietumiem uz austrumiem, kas ir līdzīgs Latvijas klimata meridionālajai zonalitātei.



4.attēls. Gada Qmax iestāšanās datuma trenda statistikas rezultāti, izmantojot Manna-Kendala testu (tumši zilo un rozā krāsu simboli) un Teila-Sena metodi (skaitļi pie simboliem). Ja vidējā trenda vērtība ir pozitīva, tad arī trends visās HNS būs pozitīvs un otrādi.

Manna-Kendala testa rezultāti parādīja, ka visām Latvijas upēm ir novērojams negatīvs trends. divdesmitvienai novērošanas stacijai jeb 66% gadījumos trendi bija statistiski būtiski pie  $\alpha < 0,05$  un  $\alpha < 0,01$  ticamības līmeņiem.

Valkera testa rezultāti parādīja, ka gada Mmax apjomam un Qmax iestāšanās datumam ilgtermiņa izmaiņas reģionu līmenī bija statistiski nozīmīgas pie  $\alpha < 0,01$  ticamības līmeņa visiem hidroloģiskajiem rajoniem un Latvijā kopumā, bet Centrālajā HR upes trends bija statistiski būtisks pat pie  $p < 0,001$  ticamības līmeņa.

Šajā pētījumā tika arī meklēta sakarība, kāda pastāv starp gada Mmax apjomu un gada Qmax iestāšanās datumu. Iegūtie rezultāti parādīja, ka nav izteikta sakarība starp šiem rādītājiem, jo pastāv salīdzinoši liela datu izkliede.

### **Izmantotā literatūra:**

- Bari M.A., Amirthanathan G.E., Woldemeskel F.M., Paul Martinus Feikema P.M. (2023) Changes in Magnitude and Shifts in Timing of Australian Flood Peaks, *Water*, 15, 3665: 1-27. <https://doi.org/10.3390/w15203665>
- Briede A., Apsīte E., Elferts D., Koļcova T. (2022) Trends and regime shifts in climatic parameters and river runoff in Latvia for the period 1951–2020. The XXXI Nordic Hydrological Conference: Hydrology and Water-related Ecosystems, 15-18 August 2022, Tallinn, Estonia
- Glazacheva, L. (1980) Hydrological Districts. The Elaboration of Methodology. University of Latvia, Riga (in Russian)
- International Glossary of Hydrology, World Meteorological Organization No 385: <https://library.wmo.int/viewer/35589/?offset=#page=181&viewer=picture&o=search&n=0&q=YEAR> (skatīts 2024. gada 8. februārī)
- Kļaviņš, M., Rodinovs, V., and Draveniece, A. (2007) Largescale atmospheric circulation processes as a driving force in the climatic turning points and regime shifts in the Baltic region. In: B.M. Kļaviņš, ed. Climate change in Latvia. Rīga: Latvijas Universitāte, 45–57.
- Matti B., Dahlke H.E., Dieppois B., Lawler D.M., Lyon S.W. (2017) Flood seasonality across Scandinavia—Evidence of a shifting hydrograph? *Hydrological Processes*, 1–17. <https://doi.org/10.1002/hyp.11365>
- R Core Team (2023) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Salmi T., Määttä A., Anttila P., Ruoho-Airola T., Amnell T. (2002) Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimate - The Excel template application MAKESENS. Publications on Air Quality 31. Finnish Meteorological Institute, Helsinki.
- Wilks D.S. (2006) On “Field Significance” and the False Discovery Rate. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*: 45, 1181–1189. <https://doi.org/10.1175/JAM2404.1>
- Zīvertis A., Strūbergs J. (2000) Hidroloģiskie aprēķini Latvijā (CD). Jelgava, LLU