

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE  
ĢEOGRĀFIJAS NODAĻA



**Inese Latkovska**

PROMOCIJAS DARBS

**LATVIJAS UPJU HIDROLOĢISKĀ REŽĪMA  
ILGTERMIŅA UN SEZONĀLĀS IZMAIŅAS**

Doktora zinātniskā grāda iegūšanai ģeogrāfijā  
Apakšnozare: dabas ģeogrāfija

Darba zinātniskā vadītāja:

Docente, *Dr.geogr.* **Elga Apsīte**

Darba konsultants:

Asoc. prof., *Dr.biol.* **Didzis Elferts**

RĪGA 2015

Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē, Ģeogrāfijas nodaļas Dabas ģeogrāfijas katedrā laika posmā no 2011. gada līdz 2015. gadam.



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

Darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projekta „Atbalsts doktora studijām Latvijas Universitātē” (līguma Nr.2009/0138/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/004) ietvaros.

Darba zinātniskā vadītāja: Docente, *Dr.geogr.* **Elga Apsīte**  
Darba konsultants: Asoc. prof., *Dr.biol.* **Didzis Elferts**

Promocijas padomes sastāvs:

*Prof. Dr.geogr.* Agrita Briede  
*Prof. Dr.geogr.* Oļģerts Nikodemus  
*Prof. Dr.hab.chem.* Māris Kļaviņš  
*Prof. Dr.geogr.* Zaiga Krišjāne  
*Asoc. prof. Dr.geol.* Ivars Strautnieks

Recenzenti:

*Prof. Dr.geogr.* **Agrita Briede** (Latvijas Universitāte)  
*PhD.* **Jūratē Kriaučiūnienē** (Lietuvas Enerģijas institūts, Kauņa)  
*Doc. Dr.biol.* **Dāvis Gruberts** (Daugavpils Universitāte)

Promocijas darba aizstāvēšana notiks Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas promocijas padomes atklātā sēdē 2015. gada 11. septembrī plkst. 11.00 Latvijas Universitātes Dabaszinātņu akadēmiskajā centrā, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē (Jelgavas ielā 1, Rīgā).

Ar promocijas darbu un tā kopsavilkumu var iepazīties Latvijas Universitātes Daudznozaru bibliotēkā Raiņa bulvārī 19.

Atsauksmes sūtīt promocijas padomes sekretārei docentei *Dr. geogr.* Solvitai Rūsiņai: Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte, Rīga, Raiņa bulvāris 19, LV-1586, e-pasts: *rusina@lu.lv*

## SATURS

ANOTĀCIJA .....	5
ANNOTATION .....	6
LIETOTIE SAĪSINĀJUMI.....	7
IEVADS.....	8
Darba mērķis un uzdevumi .....	9
Darba hipotēzes.....	9
Darba novitāte .....	10
Darba pētījumu rezultātu aprobācija .....	10
Zinātniskās publikācijas par pētījuma rezultātiem.....	10
Ziņojumi starptautiskajās konferencēs.....	11
Ziņojumi vietējās konferencēs .....	11
Ieguldījums starptautiskajos projektos.....	12
1. LITERATŪRAS ANALĪZE.....	13
1.1. Upju hidroloģiskais režīms un to ietekmējošie faktori .....	13
1.1.1. Noteces režīms .....	14
1.1.2. Termiskais režīms .....	18
1.1.3. Ledus režīms .....	21
1.2. Klimata pārmaiņu ietekme uz upju hidroloģisko režīmu.....	25
1.3. Iekšzemes ūdeņu monitoringa attīstība Latvijā.....	29
1.4. Upju hidroloģiskā režīma pētījumi Latvijā .....	31
2. MATERIĀLI UN METODES.....	33
2.1. Pētījuma dati .....	33
2.2. Pētījuma datu apstrādes metodes .....	39
2.3. Pētījuma datu analīzes metodes .....	39
3. REZULTĀTI .....	43
3.1. Upju ūdens noteces režīma izmaiņas .....	43
3.1.1. Gada kopējā upju notece .....	43
3.1.2. Gada vidējā, mazūdens perioda un daudzūdens perioda notece .....	48
3.1.3. Izmaiņas nākotnes klimata apstākļos 21. gadsimta beigās .....	51
3.1.3.1. HBV modeļa kalibrācijas un validācijas rezultāti .....	51
3.1.3.2. Klimata datu izmaiņas .....	53
3.1.3.3. Upju noteces režīma izmaiņas .....	55
3.2. Upju virsējā slāņa ūdens temperatūras izmaiņas.....	59
3.2.1. Siltās sezonas vidējā ūdens temperatūra .....	59
3.2.2. Gada maksimālā ūdens temperatūra .....	67
3.2.3. Ūdens un gaisa temperatūras kopsakarību analīze.....	71
3.3. Upju ledus režīma izmaiņas .....	73

3.3.1. Ledus režīma parametru un gaisa temperatūras kopsakarību analīze ...	73
3.3.2. Ledus segas izveidošanās .....	76
3.3.3. Ledus segas uzlūšana .....	78
3.3.4. Ledstāve .....	79
3.3.5. Ledus biezums .....	81
3.3.6. Ziemas bardzības indekss .....	85
3.3.7. Hidroelektrostaciju ietekme uz ledus fenoloģiju Daugavā .....	87
3.3.7.1. Daugavas ledus fenoloģijas ilgtermiņa izmaiņas .....	87
3.3.7.2. Hidroelektrostaciju kaskāžu ietekme uz ledus fenoloģiju .....	91
4. DISKUSIJA .....	94
4.1. Upju ūdens notece .....	94
4.1.1. Upju ūdens notece mūsdienu klimata apstākļos .....	94
4.1.2. Upju ūdens notece nākotnes klimata apstākļos .....	97
4.2. Upju virsējā slāņa ūdens temperatūra .....	100
4.3. Upju ledus režīms .....	104
4.4. Ledus fenoloģija Daugavā .....	107
SECINĀJUMI .....	110
PATEICĪBAS .....	112
IZMANTOTĀ LITERATŪRA .....	113
PIELIKUMS .....	124

## ANOTĀCIJA

Promocijas darba mērķis ir izvērtēt Latvijas upju ūdens noteces, virsējā slāņa ūdens temperatūras un ledus režīma raksturojošo parametru ilgtermiņa un sezonālās izmaiņas, to reģionālās atšķirības mainīga klimata apstākļos.

Darbā aplūkoti upju hidroloģiskā režīma pētījumi Latvijā un raksturots upju hidroloģiskais režīms un to ietekmējošie faktori. Analizēti rezultāti par Latvijas upju hidroloģiskā režīma ilgtermiņa un sezonālajām izmaiņām 20. – 21. gadsimtā.

Noteces režīms raksturots, analizējot gada kopējo un vidējo noteci, vasaras (maijs – oktobris) un ziemas (novembris – februāris) 30 dienu minimālos caurplūdumus un daudzūdens perioda noteci, kā arī noteces režīma izmaiņas nākotnē.

Raksturojot termisko režīmu, analizētas Latvijas upju siltās sezonas (no maija līdz oktobrim) ūdens virsējā slāņa mēneša vidējās un gada maksimālās ūdens temperatūras ilgtermiņa un mēneša trendi un ūdens temperatūras saistība ar gaisa temperatūru.

Ledus režīma analizē raksturoti upju aizsalšanas un uzlūšanas datuma trendi un to korelācija ar gaisa temperatūru, kā arī analizēti ledstāves ilguma trendi un to reģionalizācija, kā arī ledstāves ilguma korelācija ar gaisa temperatūru. Veikta gada vidējo un maksimālo ledus biezumu ilgtermiņa izmaiņu analīze, kā arī analizēti maksimālie ledus biezumi pa mēnešiem. Veikta ziemas bardzības indeksa aprēķināšana. Analizēta hidroelektrostaciju kaskādes (Ķegums, Pļaviņas un Rīgas) ietekme uz ledus segas izveidošanos un uzlūšanu, kā arī ledstāves ilgumu Daugavas piemērā.

**Atslēgas vārdi:** hidroloģiskais režīms, notece, ūdens temperatūra, ledus režīms, ilgtermiņa un sezonālās izmaiņas, upes, Latvija.

## ANNOTATION

The goal of the dissertation is to evaluate long-term and seasonal changes of the river runoff, water temperature of river upper layer and ice regime parameters under the changing climate conditions and their regional peculiarities in Latvia.

The dissertation reviews the studies of the river hydrological regime in Latvia and describes the hydrological regime of rivers and the factors impacting it. The results on the long-term and seasonal changes of the hydrological regime of rivers in Latvia in the 20th - 21st century are analysed.

The runoff regime is characterised by analysing the annual total and mean runoff, the summer (May-October) and winter (November-February) minimum discharge and the discharge of the high water period, as well as the future changes of the runoff regime.

In the course of describing the thermal regime, the long-term and monthly trends of the monthly mean and maximum water temperature of river upper layer of the warm season of rivers in Latvia (from May to October) and the relation between the water temperature and the air temperature are analysed.

Within the analysis of the ice regime, the trends of the freeze-up and the break-up of rivers and their correlation with the air temperature are analysed and the trends of the length of the ice cover and their regionalisation, as well as the correlation between the length of the ice cover and the air temperature are analysed. The analysis of the long-term changes of the annual mean and maximum ice thickness is carried out and the maximum ice thickness monthly indices are analysed. The winter severity index is calculated. The impact of the cascade of hydro power plants (Kegums, Pļaviņas and Riga) upon the formation and the break-up of the ice cover and the length of the ice cover is analysed on the basis of the Daugava river example.

**Key words:** hydrological regime, runoff, water temperature, ice regime, long-term and seasonal changes, river, Latvia.

## Lietotie saīsinājumi

GCM – (angļu val. *General Circulation model*) globālais klimata modelis

HES – hidroelektrostacija

HNS – hidroloģiskā novērojumu stacija

IPCC – (angļu val. *Intergovernmental Panel on Climate Change*) Klimata pārmaiņu starpvaldību padome

LVĢMA – Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra

LVĢMC – Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs

MNS – meteoroloģiskā novērojumu stacija

RCAO – (angļu val. *Rosby Centre Atmosphere-Ocean model*) Rosbi centra atmosfēras-okeāna klimata modelis

RCM – (angļu val. *Regional Climate model*) reģionālais klimata modelis

## IEVADS

Ūdens resursi ir viena no Latvijas lielākajām dabas bagātībām, jo paugurainais reljefs, mitrais klimats, kā arī ģeoloģiskā uzbūve radījusi labvēlīgus apstākļus, lai Latvijā izveidotos plašs upju tīkls. Latvijā kopumā ir 12,5 tūkstošu upju, strautu, valku, urgu un lielu grāvju. Kopējais upju garums, ieskaitot arī pašas mazākās upes, ir 37500 km. Kopā ar grāvjiem hidrogrāfiskā tīkla kopgarums pārsniedz 100 tūkstošus kilometru. Lielākā daļa ir nelielas upes, kuras ir īsākas par 10 km. Tikai ~ 2 % no visām upēm garums ir lielāks par 20 km. Vidējais upju tīkla blīvums – 0,58 km uz 1 km<sup>2</sup> (Glazačeva, 1975).

Tāpat ūdens resursi ir viena no svarīgākajām dabas vides sastāvdaļām, kuru izmaiņas var ietekmēt dažādi gan dabiskie, kā arī antropogēnie faktori. Dažādos pasaules reģionos, sakarā ar globālo klimata pasiltināšanos, hidroloģiskā režīma izmaiņas var būtiski ietekmēt dažādus ekonomiskos un sociālos sektorus, kā, piemēram, lauksaimniecību, enerģijas ražošanu, zivsaimniecību, veselību (dzeramā ūdens un peldūdeņu kvalitātes problēmas) u.c. Tādēļ ir svarīgi apzināties ne tikai mūsdienu ūdens resursus, bet arī novērtēt to pieejamību un izmaiņas nākotnē, kā arī to ietekmējošos dabiskos un antropogēnos faktoros. Upju un ezeru sezonālie dati, piemēram, ledus segas izveidošanās datums, ledus segas uzlūšanas datums, dienu skaits ar ledus segu, kā arī maksimālais ledus biezums, ir labi indikatori, lai novērtētu klimata izmaiņas, it īpaši attiecībā uz ilgtermiņa klimata pārmaiņām (Magnuson *et al.*, 2000; Beltaos and Burrell, 2003).

Izvēlētās tēmas aktualitāti galvenokārt nosaka divi aspekti. Kā vienu no tiem var minēt globālā klimata pasiltināšanās izpausmi un to ietekmi uz upju hidroloģiskā režīma izmaiņām mūsdienās (Kriaučiūnienē *et al.*, 2008; Bolle *et al.*, 2008; Wilson *et al.*, 2010), kas ir sekmējusi plašu pētījumu spektru attīstību dažādos pasaules reģionos. Mūsdienās vairāki pētījumi ir pierādījuši, ka globālās gaisa temperatūras pieaugums var radīt būtiskas izmaiņas globālajā hidroloģiskajā ciklā un tā procesos (Rummukainen *et al.*, 2003; Andreasson *et al.*, 2004; Beldring *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2010; Thorsteinsson and Björnsson, 2011), tajā skaitā arī Baltijas jūras sateces baseinā (Jaagus *et al.* 1998; Kriaučiūnienē *et al.*, 2008; Kriaučiūnienē *et al.*, 2009; Bethers and Senņikovs, 2009; Apsīte *et al.*, 2011; Latkovska *et al.*, 2012). Pētījumos par klimata izmaiņām Baltijas jūras sateces baseinā (angļu val. *Assessment of climate change for the Baltic sea basin*) norādīts, ka pēdējo 100 gadu laikā gada vidējais temperatūras pieaugums ir augstāks attiecībā pret tendenci, kāda novērojama pasaulē (attiecīgi no 0,10 – 0,07 °C Baltijas jūras reģionā, 0,05 °C pasaulē) (Bolle *et al.*, 2008). Turklāt pēc dažādiem atšķirīgiem nākotnes klimata scenārijiem, arī 21. gadsimta beigās tiek prognozēts globālās gaisa temperatūras pieaugums par 1 – 6 °C (Meehl *et al.*, 2007), bet Baltijas jūras reģionā vidēji par 3 – 5 °C (Bolle *et al.*, 2008). Arī Latvijā pakāpeniski samazinās gada gaisa temperatūras amplitūdas, pieaug vidējais atmosfēras nokrišņu daudzums, kā arī samazinās saules spīdēšanas ilgums (Kļaviņš u.c., 2008), tāpat arī ledus iešana upēs novērojama agrāk (Kļaviņš *et al.*, 2009).

Otrkārt, Latvijā pēdējie pētījumi par upju hidroloģiskā režīma izmaiņām ir galvenokārt veikti tikai par upju ūdens noteci un ledus režīmu pārsvarā lielākajām upēm (Kļaviņš *et al.*, 2002a; Frisk *et al.*, 2002; Kļaviņš *et al.*, 2004; Kļaviņš *et al.*, 2006; Kļaviņš and Rodinov, 2008; Kļaviņš *et al.*, 2009). Plašāks pētījums par Latvijas upju ūdens noteci, t. sk. arī Igaunijā un Lietuvā veikts A. Reihanas u.c. (Reihan *et al.*, 2007) pētījumā. Iepriekšminētajos pētījumos galvenokārt izvērtēti ūdens noteces, ledus aizsalšanas/uzlūšanas datuma un ledstāves ilguma ilgtermiņa izmaiņu tendences jeb

trendi, bet nav analizētas upju gada ūdens noteces sadalījuma un ledus režīma raksturojošo parametru ilgtermiņa un sezonālās izmaiņas, kā arī reģionālās atšķirības dažāda lieluma upēm. Agrākus pētījumus par Latvijas upju un ezeru ledus un termisko režīmu un tā reģionālajām atšķirībām veikusi L. Glazačeva 1960-jos gados (Глазачева, 1963; 1964; 1965; 1967), kā arī L. Glazačeva (Глазачева, 1980) un A. Pastors (Pastors, 1964a; Пасторс, 1987b) veikuši Latvijas upju hidroloģisko rajonēšanu, kur, kā viens no kritērijiem izmantota ūdens notece. Jāatzīmē, ka pēdējos gados nav veikti pētījumi par Latvijas upju ūdens temperatūras ilgtermiņa un sezonālajām izmaiņu tendencēm.

Visus procesus dabā ietekmē ļoti daudz un dažādu faktoru, no kuriem parasti vēlas noskaidrot tos, kuru ietekme uz pētāmo parādību ir visbūtiskākā (Kļaviņš u.c., 2008). Tā kā hidroloģisko režīmu par aptuveni 80 % nosaka tieši klimatiskie faktori (Livingstone, 1997; Boyer et al., 2010; Du and Shi, 2012), tad promocijas darbā analizētas hidroloģiskā režīma izmaiņas klimata pārmaiņu kontekstā. Zināmu ietekmi uz upju hidroloģisko režīmu atstāj arī baseina ģeoloģiskā uzbūve, reljefs un augsnes, ezeri, purvi un meži, kā arī dažādas antropogēnās darbības upes baseinā (t.s. hidroelektrostaciju būvniecība, meliorācijas sistēmas, upju regulēšana-iztaisnošana u.c.) (Sarma, 1960), taču šo faktoru ietekme ir pietiekami nopietns jautājums turpmākajiem pētījumiem.

### **Darba mērķis un uzdevumi**

Promocijas darba mērķis ir izvērtēt Latvijas upju ūdens noteces, virsējā slāņa ūdens temperatūras un ledus režīma raksturojošo parametru ilgtermiņa un sezonālās izmaiņas, to reģionālās atšķirības mainīga klimata apstākļos.

Darba uzdevumi:

1. Raksturot upju hidroloģisko režīmu un to ietekmējošos faktorus, kā arī apkopot upju hidroloģiskā režīma pētījumus Latvijā;
2. Izveidot datu bāzes ar meteoroloģiskajiem un hidroloģiskajiem novērojumiem atbilstoši pētījuma mērķim;
3. Analizēt un novērtēt ūdens noteces, termiskā un ledus režīma mainības tendences Latvijā kopumā un reģionālās atšķirības;
4. Veikt upju ūdens noteces matemātisko modelēšanu un iegūto rezultātu analīzi pēc diviem IPCC emisijas nākotnes klimata scenārijiem A2 un B2 (2071. – 2100. gads), izmantojot HBV hidroloģisko modeli;
5. Izvērtēt ledus segas izveidošanās un uzlūšanas datumu, kā arī ledstāves ilguma izmaiņas un hidroelektrostaciju radīto ietekmi uz ledus fenoloģisko parametru izmaiņām Daugavas upes piemērā;
6. Izvērtēt Latvijas upju hidroloģiskā režīma izmaiņu īpatnības kontekstā ar citu autoru veiktajiem pētījumiem ziemeļu puslodē, t.sk. Baltijas reģionā.

### **Darba hipotēzes**

Darbā izvirzītas vairākas hipotēzes:

1. Globālās klimata pārmaiņas ietekmē Latvijas upju hidroloģisko režīmu, un, mainoties klimatiskajiem apstākļiem, mainās Latvijas upju ūdens notece, ūdens temperatūra un ledus režīma raksturojošie parametri, t.s., ledus segas izveidošanās un uzlūšanas datums, ledstāves ilgums un ledus biežums;
2. Latvijas teritorijas Daugavas vidustecē un lejtecē ledus fenoloģiskos parametrus (izveidošanās un uzlūšanas datumu un ledstāves ilgumu), ir ietekmējusi hidroelektrostaciju būvniecība;

3. HBV hidroloģiskā modeļa pielietošana ļauj prognozēt upju ūdens noteci nākotnes klimata apstākļos Latvijas upju baseinos.

### **Darba novitāte**

1. Izmantojot novērojumu datus par dažāda lieluma upēm, pirmo reizi izvērtēta klimata pārmaiņu ietekme uz hidroloģiskā režīma (ūdens noteci, ūdens temperatūra, ledus režīma raksturojošie parametri) izmaiņu tendencēm un īpatnībām ilgtermiņā un sezonāli, tādējādi ļaujot precizēt iespējamās upju hidroloģiskā režīma izmaiņas un atšķirības kopumā Latvijā un reģionāli.
2. Veikta HBV hidroloģiskā modeļa aprobācija dažāda lieluma Latvijas upju baseiniem (Salacas, Vienziemītes, Iecavas, Bērzes, Imulas un Dursupes), dodot iespēju modelēt upju ūdens noteci mūsdienu un nākotnes klimata apstākļos.
3. Pirmo reizi analizētas upju virsējā slāņa ūdens temperatūras ilgtermiņa izmaiņas par silto gada periodu (no maija līdz oktobrim), kā arī gada maksimālā ūdens virsējā slāņa temperatūra.
4. Pirmo reizi aprēķināts un izvērtēts ziemas bardzības indekss Latvijā, ņemot vērā meteoroloģiskos apstākļus un analizējot ledus režīma izmaiņas.
5. Pirmo reizi analizētas ledus fenoloģisko parametru (izveidošanās/uzlūšanas datumi un ledstāves ilgums) izmaiņas Daugavai saistībā ar hidroelektrostaciju kaskādes (Rīgas, Ķeguma un Pļaviņu) ietekmi dažādos laika periodos.

### **Darba pētījumu rezultātu aprobācija**

Promocijas darba rezultāti ir atspoguļoti 6 zinātniskās publikācijās. Par pētījuma rezultātiem sniegti 7 ziņojumi starptautiskās zinātniskās konferencēs un 9 ziņojumi vietēja mēroga zinātniskās konferencēs.

#### **Zinātniskās publikācijas par pētījumu rezultātiem:**

1. **Latkovska, I.**, Apsīte, E., Elferts, D. & Kurpniece, L. 2012. Forecasted changes in climate and the river runoff regime in Latvian river basins. *Baltica*. 25 (2), 143–152. Vilnius. Issn 0067-3064. (publicēts).
2. **Latkovska, I.**, Apsīte, E., Kurpniece, L. & Elferts, D. 2012. Changes in climate and discharge regime in Latvia at the end of the 21st century. *Climate Change in Latvia and Adaptation to It*. In: Kļaviņš, M. & Briede, A (eds.). University of Latvia Press, Rīga. 119. – 133. (publicēts).
3. Apsīte, E., Rudlapa, I., **Latkovska, I.** & Elferts, D. 2013. Changes in Latvian river discharge regime at the turn of the century. *Hydrology Research*. 44 (3), 554-569. (publicēts).
4. Apsīte, E., Elferts, D. & **Latkovska, I.** 2015. Long-term changes and impact of the cascade of hydro power plants upon the Daugava river ice phenology. *Proc. of Latv. Acad. Sci., Section B: Natural Sciences*. (iesniegts publicēšanai).
5. **Latkovska, I.**, Apsīte, E. & Elferts, D. 2015. Long-term changes of the ice regime of rivers in Latvia. *Hydrology Research*. (iesniegts publicēšanai).
6. **Latkovska, I.** & Apsīte, E. 2015. Long-term changes in the water temperature of rivers in Latvia. *Proc. of Latv. Acad. Sci., Section B: Natural Sciences*. (iesniegts publicēšanai).

### Ziņojumi starptautiskajās konferencēs:

1. **Pallo I.**, Kurpniece L. & Apsīte E. 2010. River runoff patterns under changing climate conditions in Latvia. The XXVI Nordic Hydrological Conference „Hydrology: From Research To Water Management”, Session: Climate Change Impacts and Adaptation Strategies; 9. – 11. August, Riga. *XXVI Nordic Hydrological Conference: „Hydrology: From Research To Water Management”*, (2010). Nordic Hydrological Programme, Report No. 51, (editors: E. Apsīte, A. Briede, M. Kļaviņš), University of Latvia Press, Riga, 153. – 155. p.
2. **Pallo, I.**, Apsīte, E. & Kurpniece, L. 2011. Changes of Latvian river runoff under future climate scenarios. In: NGM 2011 Organizing Committee (eds.) *Geographical Knowledge, Nature and Practice*. 4<sup>th</sup> Nordic Geographers Meeting. Department of Environmental, Social and Spatial Change, Roskilde University, Denmark. 135.– 136. p.
3. **Latkovska, I.**, Apsīte, E., Elferts, D. & Kurpniece, L. 2012. Changes in ice seasons of rivers and lakes in Latvia. International Symposium on Seasonal Snow and Ice, 28 May–1 June, Lahti, Finland. *Proceedings of the Lahti Symposium on Seasonal Snow and Ice*. (Pieejams: <http://www.igsoc.org/symposia/2012/finland/proceedings/proceedings.html>).
4. **Latkovska, I.**, Apsīte, E., Elferts, D., Kurpniece, L. & Žumbure, E. 2012. Long-term changes in discharge and ice regime in Latvian river basins and regional peculiarities. Session: Cold climate hydrology. The XXVII Nordic Hydrological Conference „Catchment Restoration and Water Protection”, 13. – 15. August, Oulu, Finland. *XXVII Nordic Hydrological Conference: „Catchment Restoration and Water Protection”*, (2012). In: Kamula, R., Klove B. & Arola, H. (eds.), Erweko Oy, Oulu, Finland, 14.p.
5. **Latkovska, I.** & Apsīte, E. 2014. Long-term changes in the water temperature of Latvia`s rivers. Session: Climate change - impacts, adaptation, and resilience. The XXVIII Nordic Hydrological Conference „The Nordic Hydrology Model – Linking science and practice”, 11. – 13. August, Stockholm, Sweden. *XXVIII Nordic Hydrological Conference: „The Nordic Hydrology Model – Linking science and practice”*, (2014). In: Gustafsson, D. & Zhang, L. (eds.), Stockholm, Sweden, 55. p.
6. **Latkovska, I.**, Elferts, D. & Apsīte, E. 2014. Long-term changes in the ice regime of Latvia`s rivers. Session: Climate change - impacts, adaptation, and resilience. The XXVIII Nordic Hydrological Conference „The Nordic Hydrology Model – Linking science and practice”, 11. – 13. August, Stockholm, Sweden. *XXVIII Nordic Hydrological Conference: „The Nordic Hydrology Model – Linking science and practice”*, (2014). In: Gustafsson, D. & Zhang, L. (eds.), Stockholm, Sweden, 56. p.
7. Apsīte, E., Elferts, D. & **Latkovska, I.** 2014. Long-term changes in the phonological observations of the Daugava ice regime and the impact of hydro power plants. Session: Climate change - impacts, adaptation, and resilience. The XXVIII Nordic Hydrological Conference „The Nordic Hydrology Model – Linking science and practice”, 11. – 13. August, Stockholm, Sweden. *XXVIII Nordic Hydrological Conference: „The Nordic Hydrology Model – Linking science and practice”*, (2014). In: Gustafsson, D. & Zhang, L. (eds.), Stockholm, Sweden, 11. p.

### Ziņojumi vietējās konferencēs:

1. **Pallo I.**, Apsīte E. & Kurpniece L. 2010. Latvijas upju noteces raksturs mainīga klimata apstākļos. Sesija: Klimats un ūdeņi. *Latvijas Universitātes 68. Zinātniskā*

- konference, „Klimats un ūdeņi” sekcijas tēzes, Rīga. 01.02.2010. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne: Referātu tēzes. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 2010, 181 – 182. lpp.
2. **Pallo I.** & Kurpniece L. 2010. Konceptuālā ūdens bilances modeļa IHMS-HBV izmantošana noteces izpētē Latvijas upju baseiniem. Sesija: Klimats un ūdeņi. *Latvijas Universitātes 68. Zinātniskā konference, „Klimats un ūdeņi” sekcijas tēzes*, Rīga. 01.02.2010. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne: Referātu tēzes. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 2010, 183. – 184. lpp.
  3. **Pallo, I.**, Kurpniece, L. & Apsīte, E. 2011. Latvijas upju baseinu noteces izmaiņas pēc nākotnes klimata scenārijiem. *Latvijas Universitātes 69. Zinātniskā konference, „Klimats un ūdeņi” sekcijas tēzes*, Rīga. 02.02.2011. Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne: Referātu tēzes. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 2011, 182.–183. lpp.
  4. Kurpniece L., Apsīte, E. & **Pallo I.** 2011. Dursupes baseina hidroloģiskā modelēšana. Sesija: Klimats un ūdeņi. *Latvijas Universitātes 69. Zinātniskā konference, „Klimats un ūdeņi” sekcijas tēzes*, Rīga. 02.02.2011. Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne: Referātu tēzes. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 2011, 451. – 452. lpp.
  5. **Latkovska, I.**, Apsīte, E., Kurpniece, L., Elferts, D. & Zubaničs, A. 2012. Ledus režīma pārmaiņas Latvijas upēs un ezeros. Sesija: Klimats un ūdeņi. *IV Latvijas ģeogrāfijas kongress, Ģeogrāfija mainīgajā pasaulē. Referātu tēzes. 2012. gada 16. – 17. marts*. Rīga: Latvijas Ģeogrāfijas biedrība, 122. lpp.
  6. Apsīte, E., Rudlapa, I., **Latkovska, I.** & Elferts, D. 2012. Latvijas upju noteces režīma pārmaiņas gadsimtu mijā. Sesija: Klimats un ūdeņi. *IV Latvijas ģeogrāfijas kongress, Ģeogrāfija mainīgajā pasaulē. Referātu tēzes. 2012. gada 16. – 17. marts*. Rīga: Latvijas Ģeogrāfijas biedrība, 90. lpp.
  7. **Latkovska, I.**, Kurpniece, L. & Apsīte, E. 2013. HES ietekme uz ledus izveidošanos un uzlūšanu Daugavā. *Latvijas Universitātes 71. Zinātniskā konference, „Klimats un ūdeņi” sekcijas tēzes*, Rīga. 30.01.2013. Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne: Referātu tēzes. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 2013, 124.–126. lpp.
  8. Apsīte, E., Elferts, D. & **Latkovska, I.** 2014. Daugavas ledus fenoloģisko novērojumu ilgtermiņa izmaiņas un hidroelektrostaciju ietekme. *Latvijas Universitātes 72. Zinātniskā konference, „Klimats un ūdeņi” sekcijas tēzes*, Rīga. 29.01.2014. Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne: Referātu tēzes. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 2013, 91.–93. lpp.
  9. **Latkovska, I.** & Apsīte, E. 2015. Latvijas upju ūdens temperatūras izmaiņas. *Latvijas Universitātes 73. Zinātniskā konference, „Klimats un ūdeņi” sekcijas tēzes*, Rīga. 04.02.2015. Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne: Referātu tēzes. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 2015, 116.–118.lpp.

### Ieguldījums starptautiskajos projektos

Darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projekta „Atbalsts doktora studijām Latvijas Universitātē” (līguma Nr.2009/0138/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/004) ietvaros.

# 1. LITERATŪRAS ANALĪZE

## 1.1. Upju hidroloģiskais režīms un to ietekmējošie faktori

Hidroloģiskais režīms ir ūdens objektu stāvokli raksturojošas likumsakarīgas pārmaiņas noteiktā laikā, kuras nosaka baseina fizioģeogrāfiskie apstākļi (ģeoloģija, augsnes, topogrāfija, veģetācija u.c.) un klimatiskie apstākļi (atmosfēras nokrišņi, gaisa temperatūra, saules radiācija, gaisa mitrums, vējš u.c.) (Pastors, 1995; Snelder and Booker, 2013). Hidroloģiskā režīma raksturojumā ietilpst: ūdens līmeņu mainība laikā (līmeņu režīms), caurplūduma mainība laikā (noteces režīms), ūdens temperatūras mainība (termiskais režīms), ledus parādības (ledus režīms), izšķīdušo vielu sastāva un koncentrācijas dinamika (hidroķīmiskais režīms), cietvielu noteces mainība (sanešu režīms) un upes gultnes izmaiņas (gultnes process) (Zīverts, 2004; Musy and Higy, 2011). Tādējādi, hidroloģiskais režīms var tikt aplūkots, kā vienojošs elements starp hidroloģisko telpu un laiku, un hidroloģiskā režīma raksturojošie parametri ir būtiska informācija par upes vai reģiona hidroloģiskajiem, ģeogrāfiskajiem un klimatiskajiem apstākļiem (Musy and Higy, 2011). Hidroloģiskais režīms ir atkarīgs no apskatāmā ūdens objekta atrašanās vietas klimata raksturīgajām sezonālajām izmaiņām, un meteoroloģisko apstākļu ikgadējo atšķirību dēļ atsevišķa gada hidroloģiskais režīms var ievērojami atšķirties no tipiskā klimatam atbilstošā hidroloģiskā režīma (Zīverts, 2004). Mēneša noteces sadalījums tiek izmantots, lai raksturotu upes hidroloģisko režīmu un upju hidroloģiskā režīma gada ciklā izšķir vairākus periodus: pavasara palus, lietus plūdus un mazūdens periodus, kas var tikt attēloti hidrogrāfā (Musy and Higy, 2011).

Upju hidroloģisko režīmu ietekmē liels skaits dažādu fiziski ģeogrāfisko apstākļu, kas turklāt savā starpā ir saistīti. Viens no svarīgākajiem faktoriem ir klimats, it sevišķi gada summārās radiācijas un nokrišņu daudzums (Глазачева, 1965; Riggs, 1985). Gaisa temperatūra hidroloģisko režīmu ietekmē divos galvenajos veidos, pirmkārt, augsta gaisa temperatūra palielina evapotranspirāciju, kas savukārt samazina noteces apjomu no atmosfēras nokrišņiem, bet zema gaisa temperatūra savukārt veido atmosfēras nokrišņu aizturi un tie uzreiz nenonāk upē, tādējādi arī radot izmaiņas upju notecē (Riggs, 1985). Reljefs bieži nosaka arī hidroloģiskā tīkla biezumu, upju kritumus, lietus uzplūdu formu un pārvietošanos, kā arī ilgumu, infitrācijas pakāpi baseinā u.c. (Pastors, 1964a; Riggs, 1985). Regulējošu iespaidu uz noteci un reizē uz visu upes hidroloģisko režīmu attiecīgā baseinā nosaka arī upes baseina mežainums, ezerainums un purvainums, kā arī baseina augsnes, jo tās ir vidutājs ūdeņu ieplūšanā upē, tādēļ svarīgi ir izpētīt augsnes infitrācijas un vai ūdens akumulācijas spējas, jo no tā atkarīga ne tikai virszemes ūdeņu pieplūde, bet arī pazemes ūdeņu pieplūde, kā arī tāds svarīgs faktors, kā iztvaikošana (Sarma, 1960; Snelder and Booker, 2013). Ja augsnei ir vāja ūdens akumulācijas spēja un tas iesūcas dziļākos slāņos, iztvaikošanas pakāpe samazinās, papildinās pazemes ūdeņu krājumi un otrādi, ja augsne sevī spēj uzkrāt ūdeni, tad ievērojams daudzums no tā tiks patērēts iztvaikošanai, vai arī intensīvu nokrišņu rezultātā palielināsies virszemes notece (Глазачева, 1965; Riggs, 1985). Arī baseina augu valsts ietekmē upju hidroloģisko režīmu, jo iztvaikošana notiek ne tikai no augsnes, bet arī no augus segas, ko sauc par transpirāciju (Sarma, 1960). Zināmu iespaidu uz upju hidroloģisko režīmu atstāj arī baseina un upes gultnes, kā arī upes ielejas ģeoloģiskā uzbūve, jo ir atšķirīgi režīmi upēm, kas tek pa smilšainu gultni, vai arī no cietākiem iežiem (piemēram, dolomītiem) veidotu upes gultni, turklāt baseina ģeoloģiskā uzbūve nosaka arī ūdens pieplūdes apstākļus, gruntsūdeņu krājumus utt. (Pastors, 1964a).

Upju hidroloģisko režīmu ietekmē diezgan plašs fiziski ģeogrāfisko apstākļu komplekss. Atsevišķi no minētajiem faktoriem režīmu iespaido vairāk, daži mazāk, tomēr tiem visiem ir zināma nozīme. Tāpat jāatzīmē, ka iepriekšminētie apstākļi laika gaitā var mainīties.

Nozīmīgi ir arī antropogēnie faktori – tie var izpausties dažādos veidos, kā, piemēram, upju baseina augu valsts pārveidošana, augsnes struktūras izmainīšana, plašu meliorācijas sistēmu izveidošana, ūdenskrātuvju izveidošana un upes noteces regulēšana, ūdens patēriņa pieaugums saimniecības vajadzībām u.c. (Pastors, 1964a; Magilligan and Nislow, 2005).

Upju baseini, kuros novērojama liela antropogēnā ietekme, ir sarežģītas struktūras, jo sastāv gan no dabiskas vides, lauksaimniecības zemēm, kā arī apdzīvotām vietām, kas attīstās un mainās salīdzinoši strauji (Braud *et al.*, 2013). Apdzīvotās vietās esošās mākslīgi veidotās struktūras – ceļu tīkli, dzeramā ūdens un lietus ūdens kanalizācijas tīkli, rada izmaiņas hidroloģiskajā režīmā un esošajā ekosistēmā, jo paātrina virsmas noteci, samazina gruntsūdens krājumus, kā arī pārveido dabiskos ūdens ceļus, tādējādi palielinot plūdu draudus, eroziju un piesārņojuma problēmas (Braud *et al.*, 2013; Wagner and Breil, 2013).

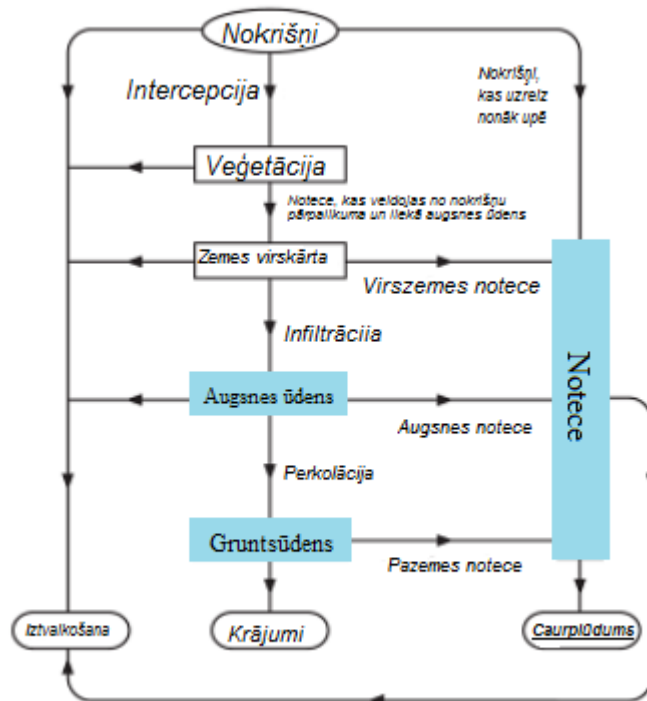
Tāpat dambju būvniecība un ūdenskrātuvju izveidošana kādā upes posmā izmaina tās hidroloģisko režīmu gan augšpus, gan lejpus dambja (Timalsina *et al.*, 2013; Silk and Ciruna, 2013). Kā norāda S. Isiks un līdzautori (Isik *et al.*, 2008) dambja būvniecība maina hidroloģisko režīmu (samazina pavasara pīķa maksimumu, izmaina mazūdens perioda noteci) un sedimenta transporta īpatnības lejpus dambim (sedimenta uzkrāšanās notiek augšpus dambja) un, tā kā upe kļūst regulēta un mazāk mainīga, tad atsevišķās vietās vairs neveidojas plūdi, kas nepieciešami dabiskas palieņu ekosistēmas uzturēšanai. F. Lajoie un līdzautori (Lajoie *et al.*, 2007), analizējot mēneša maksimālo un minimālo noteci, atklāj, ka līdz ar ūdenskrātuves izveidošanu, maksimālā notece upēs vērojama ziemā (decembrī – februārī), bet dabiskās upēs galvenokārt pavasarī (martā – aprīlī) sniega kušanas laikā, bet minimālā notece pavasarī regulētās upēs tiek samazināta, jo ūdenskrātuvē tiek veidoti ūdens uzkrājumi. Taču rudenī intensīvu lietusgāžu izraisītus plūdus ūdenskrātuves var novērst (Lajoie *et al.*, 2007). Ievērojamu ietekmi uz hidroloģisko režīmu atstāj arī mežu izciršana, jo mežs sekmē lēnu sniega kušanu un ūdens infiltrāciju, taču izcirtumos un klajumos sniegš nokūst strauji un, nespējot infiltrēties augsnē, virsmas noteces veidā ūdens strauji nonāk upē (Kronītis, 1977).

### 1.1.1. Noteces režīms

Hidroloģijā ar noteci apzīmē ūdens daudzumu, kas plūst pa zemes virsmu, kā arī pa augsni un iežu slāņiem (Ward and Trimble, 2004; Das and Saikia, 2009). Notece ir ūdens aprites dabā sauszemes posms un viens no tā galvenajiem komponentiem (Das and Saikia, 2009). Atbilstoši tam izšķir virszemes noteci, augsnes noteci un pazemes noteci (Ward and Trimble, 2004; Das and Saikia, 2009). Šie noteces veidi apvienojas upēs, veidojot upju noteci. Kopējo ūdens daudzumu upē, kas parasti tiek izteikts, kā ūdens daudzums, kas 1 sekundē izplūst caur upes aktīvo šķērsgriezumu, sauc par caurplūdumu (Q), un ko mēra kā m<sup>3</sup>/s, mazākās upēs arī l/s (Arnell, 2002; Reddy, 2005). Tāpat noteci var raksturot ar noteces apjomu W, m<sup>3</sup> (ūdens daudzums, kas izplūst caur upes šķērsgriezumu noteiktā laikā (diennaktī, dekādē, mēnesī, gadā)); noteces slāni h, mm; noteces moduli q, l/(s\*km<sup>2</sup>) un noteces koeficientu (Arnell, 2002; Dingman, 2008).

Upju noteces galvenais avots ir nokrišņi un jo lielāks izkritušo nokrišņu daudzums virs upes baseina, jo lielāka notece veidojas (Das and Saikia, 2009; Hendriks, 2010). Noteces veidošanās process shematiski attēlots 1.1. attēlā. Ir četri galvenie posmi, kā nokrišņi (lietus vai sniega kušanas rezultātā) transformējas notecē. Pirmais posms ir tiešie nokrišņi (angļu val. *direct precipitation*), kas nozīmē, ka nokrišņi uzreiz izkrīt atklātajā ūdenī (upē, ezerā, ūdenskrātuvē), taču tā ir pavisam neliela daļa no visiem nokrišņiem, jo parasti tikai neliela daļa no visa upes baseina ir atklāts ūdens (Arnell, 2002). Nokrišņu intensitātei pārsniedzot augsnes infiltrācijas spējas vai gadījumā, ja augsne ar ūdeni jau ir piesātināta, tad veidojas nokrišņu pārpalikums, kas noplūst uz upi virszemes noteces veidā (angļu val. *overland flow*), ko iespējams iedalīt trīs veidos. Pirmo veidu sauc par infiltrācijas pārpalikuma noteci (angļu val. *infiltration excess flow*), kas veidojas, kad nokrišņu intensitāte ir lielāka nekā augsnes infiltrācijas spēja, līdz ar to ūdens, pateicoties virsmas slīpumam, nokļūst upē (Arnell, 2002). Otrais veids ir piesātinājuma pārpalikuma notece (angļu val. *saturation excess flow*), kas veidojas tajos gadījumos, kad nokrišņi nevar infiltrēties augsnē, jo augsne jau ir piesātināta (Arnell, 2002). Šajā gadījumā nokrišņi daudz ātrāk nokļūst līdz upei un ātrāk tiek papildināta upes notece. Trešais veids ir virszemes uzkrāšanās (angļu val. *returned flow*), kad nokrišņi uzkrājas zemes virsmas pazeminājumos un ziemā arī sniega segā (Arnell, 2002; Hendriks, 2010). Trešo posmu varētu definēt kā augsnes ūdens noteci (angļu val. *throughflow*), ko veido ūdens, kas plūst pa augsni virs pazemes ūdeņiem (Arnell, 2002). Šo posmu var iedalīt divās daļās: pirmkārt, nepiesātinātā notece (infiltrācija nepiesātinātā augsnē) (angļu val. *unsaturated throughflow*) un otrkārt, piesātinātā notece (infiltrācija piesātinātā augsnē) (angļu val. *saturated throughflow*). Procesu, kad daļu nokrišņus pārtver augsne, sauc par intercepciju, kam liela loma noteces veidošanās procesā ir tieši mežos, jo meža augsnei ir liela augsnes caurlaidība (Sarma, 1960; Hendriks, 2010). Līdztekus intercepcijai, kā jau iepriekš tika minēts, daļa nokrišņu uzkrājas, savukārt daļa evapotranspirācijas ceļā atgriežas atmosfērā (Hendriks, 2010). Tātad augsnē infiltrētais ūdens, uzkrājoties augsnes profila porās, plaisās un tukšumos starp iežiem, palielina augsnes ūdens krājumus, veido augsnes noteci un, iesūcoties dziļāk, papildina arī gruntsūdeņus (Ward and Trimble, 2004). Ceturtais posms noteces transformācijas procesā ir pazemes notece (angļu val. *groundwater flow*), kas parasti upes arī nodrošina ar bāzes noteci un upes caurplūduma lielums ir saistīts ar to, cik daudz ūdens ir uzkrājies pazemē (Arnell, 2002). Taču saistība starp bāzes noteci un caurplūdumu nav lineāra, jo caurplūdums upēs samazinās straujāk, nekā ūdens no pazemes ūdeņu krājumiem spēj pieplūst upē, taču ir izņēmuma gadījumi, piemēram, kad gruntsūdens līmenis ir augsts un atrodas tuvu upes gultnei (Arnell, 2002).

Četri iepriekšminētie noteces transformācijas posmi variē pa upju baseiniem, atkarībā no baseina fiziogēogrāfiskajiem un klimatiskajiem apstākļiem un laika (Arnell, 2002).



1.1. att. Vienkāršota upju noteces veidošanās shēma (Hendriks, 2010)

Noteces veidošanās procesu ietekmē dažādi faktori, kurus var iedalīt klimatiskajos faktoros un baseina virsmas faktoros. Klimatiskie faktori, kas ietekmē noteci:

- Atmosfēras nokrišņu veids (lietus, sniegs, slapjš sniegs, utt.);
- Atmosfēras nokrišņu intensitāte, daudzums un ilgums;
- Atmosfēras nokrišņu sadalījums upes baseinā;
- Ciklona pārvietošanās virziens;
- Citi meteoroloģiskie un klimatiskie apstākļi, kas ietekmē evapotranspirāciju, kā gaisa temperatūra, vējš, relatīvais gaisa mitrums u.c., kā arī gada sezona (Das and Saikia, 2009; Reddy, 2005).

Baseina virsmas faktori, kas ietekmē noteci:

- Zemes lietojuma veids;
- Veģetācija;
- Augsnes tips (caurlaidīgas augsnes samazina palu maksimumus, palielina noteces minimumus);
- Sateces baseina lielums;
- Sateces baseina forma;
- Augstums virs jūras līmeņa;
- Virsmas slīpums;
- Topogrāfija (reljefa ietekme izpaužas gan tieši, veicinot noteci, gan netieši, ietekmējot nokrišņus);
- Sateces baseina orientācijas;
- Sateces tīkla veida;
- Dīķi, ezeri, ūdenskrātuves, kas maina upes noteci (Das and Saikia, 2009; Reddy, 2005).

Noteces režīms ir upes caurplūduma mainība gada laikā (Arnell, 2002). Kopš 20. gadsimta vidus, kad aktuāls kļuva jautājums par upju iedalījumu pēc noteces režīma, tika piedāvātas vairākas klasifikācijas, taču, kā norāda N. Arnells (Arnell, 2002), tad pasaulē zināmākā ir franču ģeogrāfa M. Pardé klasifikācija (1955. gads), kas balstīta uz upes ūdensguves veidu un gada noteces sadalījumu. Klasifikācija nosaka trīs galvenos noteces režīma tipus: vienkāršā, nemainīgi kompleksā un mainīgi kompleksā (Arnell, 2002; Shaw *et al.*, 2011; Musy and Higy, 2011). Vienkāršais noteces sadalījums norāda, ka upē ir viens daudzūdens periods un viens mazūdens periods un tikai viens upes ūdensguves veids. Nemainīgi komplekso noteces sadalījumu raksturo vairāk nekā viens daudzūdens (piemēram, pavasara maksimums sniega kušanas laikā un rudens maksimums intensīvu lietusgāžu rezultātā) un mazūdens periods, kā arī iespējami vairāki ūdensguves veidi, kas atkarībā no gada sezonas var mainīties. Savukārt mainīgi kompleksais noteces sadalījums veidojas gadījumos, ja upes baseins atrodas dažādos klimatiskajos apstākļos (piemēram, Eiropā Reinas upe) (Arnell, 2002; Shaw *et al.*, 2011). Savu noteces sadalījuma klasifikāciju ziemeļvalstu reģionā piedāvā arī L. Gotšalks un līdzautori (Gottschalk *et al.*, 1979), kas balstīts galvenokārt uz daudzūdens un mazūdens perioda iestāšanās laiku.

Parasti noteces sadalījumu gadā visbiežāk nosaka pa kalendāra mēnešiem un iedala sezonās (Arnell, 2002; Shaw *et al.*, 2011). Latvijā pieņemtas šādas hidroloģiskās sezonas: pavasara (marts – maijs), kad pa upēm aizplūst gandrīz 50 % no visas gada noteces, vasaras (jūnijs – septembris), kad pa upēm aizplūst apmēram 10 % no gada noteces, rudens (oktobris – novembris) ~ 20 % no gada noteces un ziema (decembris – februāris), kad ir vismazākā notece (Sarma, 1960). Latvijas upes var raksturot ar tipisku hidrogrāfu: divi daudzūdens periodi (pavasārī sniega kušanas laikā un vēlā rudenī intensīvu nokrišņu laikā) un divi mazūdens periodi (ziemā un vasarā). Tomēr jāatzīmē, ka noteces maksimums var tikt novērots arī siltajā sezonā pēc intensīvām lietusgāzēm. Latvijas upju galvenais ūdensguves veids ir sniega kušanas ūdeņi, kam seko lietus un pazemes ūdeņi (vidēji no 10 līdz 35 %) (Глазачева, 1980).

Latvijā, raksturojot noteces režīmu, var izdalīt trīs hidroloģiskā režīma fāzes jeb periodus: pavasara palus, lietus plūdus un mazūdens periodus (Sarma, 1960).

Pali ir periods, kas raksturojas ar gadā lielāko ūdenīgumu un ilgstoši augstiem ūdens līmeņiem (Arnell, 2002). Ziemas apstākļos uzkrājoties sniegam, un pavasarī, iestājoties siltam laikam un sākoties sniega kušanai, upēs iestājas pali un novērojams pavasara palu maksimums (Sarma, 1960). Tomēr, kā norāda E.M. Shavs u.c. (Shaw *et al.*, 2011), tad caurplūdumu maksimumus var izraisīt arī dažādi citi sarežģīti apstākļi, piemēram, intensīvas lietusgāzes īsā laika posmā, liels sniega daudzums, kam papildus kušanas laikā novērojams lietus, kā arī vidēji intensīvas lietusgāzes uz sasalušas zemes.

Pēc pavasara paliem notece upēs pakāpeniski samazinās un iestājas vasaras mazūdens periods, taču tā sākumu precīzi noteikt ir grūti, jo palu ūdens pietece samazinās pakāpeniski (Sarma, 1960). Par mazūdens perioda beigām pieņem laiku, kad rudenī upēs vērojamas ledus parādības. Mazūdens perioda notece veidojas no gruntsūdeņu pieplūdes un virsmas noteces, un tās daudzums mazūdens periodā atkarīgs no upes baseina apstākļiem – ja baseinā ir daudz ezeru, caurlaidīga grunts, kurā iesūcas nokrišņu ūdens, mazūdens perioda notece ir samērā liela (Sarma, 1960). Analogi vasaras mazūdens periodam, ir arī ziemas mazūdens periods.

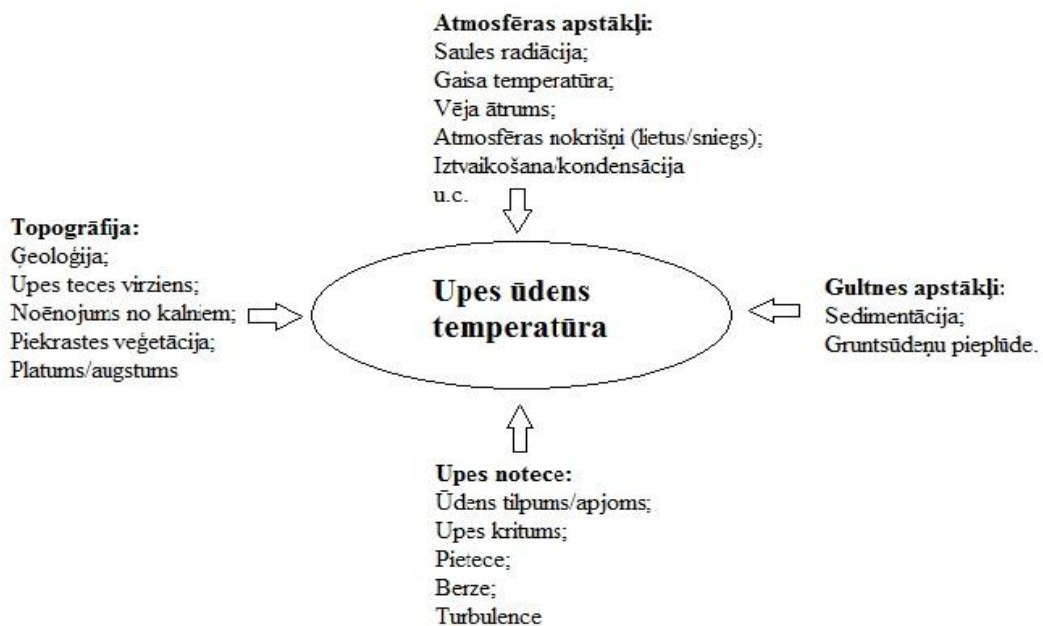
Savukārt plūdi raksturojas ar strauju īslaicīgu ūdens pieplūdumu. Tie var būt novērojami jebkurā gadalaikā, tomēr visbiežāk rudenī un tie iestājas neregulāri – var būt vairāki plūdi viens pēc otra vai arī sausos periodos tie var nebūt nemaz (Sarma, 1960).

Noteces režīmu ietekmē baseina apstākļi (klimats, ģeoloģija, veģetācija, baseina lielums un forma, purvi, ezeri, hidrotehniskās būves u.c.) (Arnell, 2002; Shaw *et al.*, 2011). Lielu upju baseinu atsevišķas daļas var atrasties dažādās klimatiskās joslās, līdz ar to dažādos upes posmos ir atšķirīgi noteces veidošanās apstākļi (Arnell, 2002).

### 1.1.2. Termiskais režīms

Ūdens temperatūra ir viena no virszemes ūdeņu fiziskajām īpašībām, kas tieši ietekmē floru un faunu ūdeņu ekosistēmās, jo ūdens temperatūras pieaugums ļoti bieži negatīvi ietekmē ūdens kvalitāti – paaugstināta ūdens temperatūra paātrina, piemēram, eutrofikācijas procesus (Webb and Nobilis, 1995; Poole *et al.*, 2001; Jurgelēnaitē *et al.*, 2012). Tāpat upju ūdens temperatūras izmaiņas ietekmē daudzus citus procesus, kas saistās ar upju termiskā režīma izmaiņām, piemēram, ledus parādību veidošanos (ledus parādības sāk veidoties, kad ūdens temperatūra nokrītas zem 0 °C), ķīmiskos un bioloģiskos procesus (no ūdens temperatūras ir atkarīgs izšķīdušo gāzu daudzums, dažādu ķīmisko reakciju ātrums, dzīvo organismu aktivitāte u.c.), izšķīdušo vielu noteces daudzumu, kas saistīts ar mineralizāciju un ķīmisko sastāvu (Михайлов и.д., 2005). Tāpat ūdens temperatūra ir nozīmīgs rādītājs saimniecības vajadzībām, piemēram, dzesēšanas sistēmās un sadzīves vajadzībām (Михайлов и.д., 2005).

Upju ūdens temperatūru ietekmē daudz un dažādi faktori, kas var tikt iedalīti četrās galvenajās grupās: (I) atmosfēras apstākļi; (II) topogrāfija; (III) upju notece un (IV) upes gultnes apstākļi (1.2. att.) (Poole *et al.*, 2001; Caissie, 2006).



1.2. att. Upju ūdens temperatūru ietekmējošie faktori (Cassie, 2006)

Upju termiskais režīms ir atkarīgs no klimatiskajiem apstākļiem, vispirms no Saules radiācijas (Glazačeva, 1975), taču Saules radiācija silda galvenokārt ūdens virsējo slāni (Zīverts, 2004). Latvijas upēs virsējais 0,5 m slānis uzsūc vairāk par 75%

no saules siltuma (Sarma, 1960). Tātad ūdens temperatūra upē ir atkarīga no gaisa temperatūras, bet seko gaisa temperatūrai ar zināmu nokavēšanos. Pavasaros, kad gaisa temperatūra jau ir augsta, ūdens upēs vēl ir vēss un iesilst tikai pēc zināma laika. Savukārt rudenī, kad gaisa temperatūra jau ir ievērojami zema, upēs ūdens vēl ir silts un atdziest pamazām. Ziemā upju ūdens temperatūru paaugstina upē ieplūstošais gruntsūdens, savukārt vasarā novērojama pretēja tendence (Sarma, 1960). Citi faktori, kas var ietekmēt upju ūdens temperatūru, ir upes noteces režīms un upes baseina ortogrāfiskie apstākļi (piemēram, augstuma virs jūras līmeņa, sateces baseina lieluma, dabiskajām ūdenskrātuvēm upes baseinā u.c.) (Jurgelēnaitē *et al.*, 2012). Pateicoties upes turbulentai tecei, līdz ar ūdens virsējo slāni atdziest arī pārējā ūdens masa. Tomēr visā upes aktīvajā laukumā ūdens temperatūra ziemā nav vienāda. Gar upes gultnes malām ūdens ir aukstāks, bet upes vidū nedaudz siltāks. Ūdens temperatūras atšķirības upes aktīvajā laukumā var sasniegt 2 – 3 °C (Sarma, 1960).

Tātad upes ūdens temperatūru jeb upes termisko režīmu (ūdens sasilšanu un atdzišanu) nosaka siltuma apmaiņa, kas notiek starp ūdens masu un apkārtējo vidi un ko raksturo siltuma bilance. Siltuma apmaiņa noris gan caur gultni, gan ūdens virsmu.

Galvenie siltuma bilances elementi:

- ✓ ūdens absorbētā saules radiācija (tiešā un izkliedētā);
- ✓ ūdens siltuma zudumi garo viļņu izstarošanas rezultātā;
- ✓ turbulentā siltuma apmaiņa ar atmosfēru;
- ✓ siltums, kas patērēts iztvaikošanai vai izdalījies ūdens tvaikiem kondensējoties;
- ✓ siltuma apmaiņa ar gultnes grunti;
- ✓ siltuma pieplūde kopā ar pietekojām ūdens masām;
- ✓ siltuma aizplūde kopā ar aiztekošajām ūdens masām;
- ✓ siltums, kas izdalās veidojoties ledum vai jāpatērē ledus izkausēšanai;
- ✓ siltums, kas izdalās izkliedējoties ūdens plūsmu kinētiskajai enerģijai.

No uzskaitītajiem siltuma bilances elementiem pirmais ir nozīmīgākais, lai ūdens temperatūra paaugstinātos, bet otrais ir svarīgs temperatūras pazemināšanās faktors (Zīverts, 2004).

Arī antropogēnie faktori, kā, piemēram, esošo lauksaimniecības zemju izmantošana, rūpniecības siltuma izplūde vai hidrauliskās iekārtas, kas izmaina upes plūsmu, var ietekmēt upju ūdens temperatūru (Caissie, 2006; Jurgelēnaitē *et al.*, 2012).

Iepriekšminētie faktori ietekmē kopējos ūdens temperatūras nosacījumus upēs. Attiecībā uz upes ūdens temperatūras sadalījumu var runāt par temperatūras sadalījumu gan telpā, gan laikā (Webb and Nobilis, 1995; Poole *et al.*, 2001; Михайлов и.д., 2005; Caissie, 2006). Saistībā ar temperatūras sadalījumu telpā jeb teritoriālo sadalījumu, tad iespējams novērot to, ka, piemēram, parasti vidējā ūdens diennakts temperatūra palielinās upes lejteces virzienā (Caissie, 2006). Ūdens temperatūra upes augštecē ir tuva upes iztekas avota temperatūrai (piemēram, pazemes ūdeņu temperatūrai).

Tāpat upju ūdens temperatūras teritoriālais izmaiņu raksturs labi parādās lielām upēm, kuras plūst meridionālā virzienā, un šķērsojot vairākas dabas zonas (Михайлов и.д., 2005). Šādām upēm vislielākās ūdens temperatūras atšķirības parādās tieši sasilsanas periodā – upēm, kuras tek no dienvidiem uz ziemeļiem, raksturīgi lieli kontrasti starp ūdens un gaisa temperatūru, jo vasarā sasīlušie ūdeņi pārvietojas uz ziemeļu platuma grādiem, kur klimats ir aukstāks (Михайлов и.д., 2005).

Iepriekšminētais attiecināms uz liela mēroga izmaiņām, taču var tikt novērotas arī izmaiņas mazākā telpiskā mērogā. Piemēram, bieži vien ūdens temperatūras izmaiņas vērojamas vietās, kur upē ieplūst lielāka pieteka. Vasaras laikā būtiski samazinās ūdens

temperatūra upēs leļpus ūdenskrātuves, kas saistīts ar to, ka caur apakšējo bjeļu no ūdenskrātuves ieplūst aukstāki dziļie ūdeņi (Михайлов и.д., 2005). Nereti ūdens temperatūra paaugstinās vietās, kur tiek iepludināti notekūdeņi un termoelektrostaciju siltie ūdeņi un šādos gadījumā to sauc par „siltumpiesārņojumu” (Михайлов и.д., 2005).

Arī upes tips var ietekmēt upes termisko režīmu, piemēram, līkumotās, mazās un šaurās upēs ūdens temperatūra var būt krietni augstāka, jo to stipri ietekmē meteoroloģiskie apstākļi (Caissie, 2006).

Upes temperatūras pieaugums nav lineārs, un lielāks temperatūras pieaugums vērojams mazajās upēs nekā lielajās upēs. Tiek minēts, ka vidēji mazajās upēs uz 1 km<sup>2</sup> temperatūra pieaug par 0,6 °C, bet lielākās upēs par 0,09 °C uz 1 km<sup>2</sup>, savukārt vidēji kopumā pieaugums ir par 0,2 °C uz 1 km<sup>2</sup> (Caissie, 2006).

Tāpat iespējams runāt par upes ūdens temperatūras starpību aktīvā šķērsriezuma laukuma mērogā, kaut gan starpība virspusē un pie upes gultnes parasti ir tikai grāda daļas (Zīverts, 2004). Ūdens temperatūras nelielās izmaiņas pa upes platumu un dziļumu ir skaidrojamas ar upes ūdens turbulenci. Upēs ar lielu straumes ātrumu, ūdens temperatūras atšķirības dažādās šķērsprofila vietās ir nelielas, t.i. ne vairāk par 0,1 °C, bet ar mazāku straumes ātrumu – 1 – 2 °C (Михайлов и.д., 2005). Tomēr dažkārt var novērot atšķirības starp upes ūdeņu augšējām un piegultnes slāņiem, kā arī starp vidusdaļu un piekrasti (piemēram, vasarā piegultnē ūdens temperatūra ir zemāka nekā virsējos ūdeņos, bet piekrastē ir augstāka temperatūra nekā vidusdaļā, savukārt rudenī upes piekrastē ūdens temperatūra ir nedaudz zemāka nekā visās pārējās šķērsprofila daļās) (Михайлов и.д., 2005). Ziemā, pateicoties upes turbulentai tecei, līdz ar ūdens virsējo slāni atdziest arī pārējā ūdens masa, tomēr arī ziemā visā upes aktīvajā šķērsriezuma laukumā ūdens temperatūra nav vienāda – gar malām ūdens ir aukstāks, bet upes vidū tas nedaudz siltāks (atšķirības var sasniegt 2 – 3 °C) (Sarma, 1960). Ja gaisa temperatūra krītas zem 0 °C, turpinās ūdens atdzišana, un, ja teces ātrums mazāks par 2 m/s, rodas iespēja izveidoties ledus segai (Sarma, 1960).

Laika skalā ūdens temperatūras sadalījums var variēt gan, vērtējot diennakts temperatūras ciklu, gan gada ciklu (Webb and Nobilis, 1995; Poole *et al.*, 2001; Caissie, 2006). Diennakts temperatūras ciklā diennakts temperatūras minimums novērojams no rīta (galvenokārt saullēkta laikā), bet diennakts maksimums vēlā pēcpusdienā vai agrā vakarā (Михайлов и.д., 2005). Arī diennakts temperatūras izmaiņas vismazāk novērojamas mazās upēs ar vēsāku ūdens temperatūru. Lielākas izmaiņu amplitūdas vērojamas lielākās upēs, kurās ūdens temperatūru mazāk ietekmē pazemes ūdeņu pieplūde, bet lielāka ietekme ir meteoroloģiskajiem apstākļiem. Maksimālās diennakts cikla temperatūras izmaiņas tiek novērotas platās un seklās upēs (platākas par 50 m un upes dziļums < 1,5 m), bet izmaiņas samazinās – palielinoties upes dziļumam un samazinoties upes platumam (Caissie, 2006).

Upes ūdens temperatūras sadalījumā var izšķirt arī gada ciklu jeb gada ūdens temperatūras sadalījumu. Vēsākajos reģionos par ūdens temperatūras ciklu var runāt sākot no pavasara līdz rudenim, jo ziemā ūdens temperatūra pazeminās, sasniedzot ūdens sasalšanas temperatūru (Poole *et al.*, 2001). Salīdzinot gada temperatūras sadalījumu mazajās un lielajās upēs, atklājās, ka ūdens temperatūras gada sadalījums ir līdzīgs pavasarī un rudenī, bet lielākās atšķirības parādās vasaras sezonā (parasti jūlija beigās) (Caissie, 2006). Pavasaros, kad gaisa temperatūra jau stipri augsta, ūdens upēs vēl ir vēss un iesilst tikai pēc zināma laika, savukārt rudenos, kad gaisa temperatūra jau ievērojami zema, upēs ūdens ir silts un atdziest pamazām (Sarma, 1960). Pavasarī pēc ledus segas izzušanas ūdens temperatūra strauji kāpj, taču vasaras pirmajā pusē ūdens

vidējā temperatūra parasti atpaliek no gada vidējās gaisa temperatūras, bet vasaras otrajā pusē un rudenī ūdens temperatūra bieži pārsniedz gaisa temperatūru (Zīverts, 2004). Ziemā zem ledus segas ūdens temperatūra ir ap 0 °C (Михайлов и.д., 2005), tādējādi negatīvas temperatūras, kas tuvas gaisa temperatūrai, ir tikai ledus (sniega) virskārtai (Zīverts, 2004).

Tā kā ūdens temperatūra upēs nevar būt negatīva, kas ir arī likumsakarīgi, tad gada vidējā temperatūra upēs ir ievērojami augstāka nekā gada vidējā gaisa temperatūra. (Михайлов и.д., 2005).

Ziemā Latvijā lielākajā daļā upju ūdens temperatūra pazeminās līdz 0 °C, savukārt vasaras vidū vērojami lieli temperatūras kontrasti, piemēram, jūlijā dažādās Latvijas upēs starpība ilggadīgi vidējā ūdens temperatūrā var sasniegt 8 – 9 °C (Glazačeva, 1975). Visaukstāko ūdeni nes strauti un upes, kas plūst no Rietumkurzemes augstienes austrumu nogāzēm (Padure, Lejasupe, Lētiža), tāpat arī upes, kas ielūst Rīgas līcī no Austrumkurzemes augstienes (Pilsupe, Dzedrupe, Dursupe), un Vidzemes augstienes rietumu nogāzes upes (Amata u.c.), jo šīm upēm ūdens temperatūra jūlijā ir vidēji 12 – 15 °C (Glazačeva, 1975). Vasarā vissiltākais ūdens ir Daugavā un tās pietekās Aiviekstē un Dubnā, kā arī Ventā, Lielupē, Mēmelē, Mūsā un daudzās citās līdzenuma mazajās upēs, kuru gultnes ir seklas un ir neliels pazemes ūdeņu pieplūdums – jūlijā ūdens šajās upēs sasilst līdz 20 – 21 °C (Glazačeva, 1975).

### 1.1.3. Ledus režīms

Upju ledus režīms ir ledus veidošanās, attīstības un sairšanas procesu īpatnības un maiņas upē kādā konkrētā laika periodā (Pastors, 1995a).

Ledus veidošanās process stāvošā un tekošā ūdenī ir atšķirīgs (Hicks, 2009). Atdzīstot stāvošam ūdenim, vērojama ūdens temperatūras dažādība atkarībā no dziļuma: ūdens visblīvāks ir pie +4 °C (stāvošam ūdenim atdzīstot, apakšējos slāņos nostājas +4 °C silts ūdens, bet, turpinoties atdzišanas procesam, vēsākās ūdens masas novietojas ūdenstilpnes virspusē) (Sarma, 1960). Tāpēc stāvošos ūdeņos ledus kārtā sāk veidoties tikai virspusē, kas, pastāvot zemai gaisa temperatūrai, kļūst aizvien biežāka (Beltaos and Prowse, 2009).

Tekošos ūdeņos ledus veidošanās process ir sarežģītāks, jo jāņem vērā daudz un dažādi apstākļi, jo kustībā esošas ūdens masas siltumu zaudē dažādi (Beltaos and Prowse, 2009; Hicks, 2009). Pirmkārt, turbulentas teces gadījumā virspusē atdzīsušais ūdens sajaucas ar pārējo siltāko ūdeni. Otrkārt, no ūdens virsmas turpinās iztvaikošana, kas saistīta ar siltuma patēriņu un treškārt, ūdens izstaro siltumu vēsajās gaisa masās (Михайлов и.д., 2005; Beltaos, 2008). Turklāt jāņem vērā faktori, kas var paaugstināt ūdens temperatūru. Pirmkārt, ūdenim, tekot pa gultni, rodas iekšējā berze un jāpārvar hidrauliskās pretestības, no kā ūdens sasilst. Otrkārt, arī zeme izstaro siltumu, kuru uzņem tekošais ūdens. Treškārt, ja upē ir liels gruntsūdeņu vai citu ūdeņu pieplūdums, piemēram, notekūdeņu, arī šajos gadījumos ir papildus siltuma daudzums, ko ūdens saņem (Sarma, 1960; Михайлов и.д., 2005; Beltaos, 2008).

Visas upes var iedalīt trīs grupās: (I) aizsalstošās, (II) ar nenoturīgu ledus segu un (III) neaizsalstošās (Михайлов и.д., 2005). Subtropu klimata joslā upes reti kad aizsalst, bet tropu klimātā – vispār nekad neaizsalst. Nosacīti mērena klimata apstākļos parasti upes ziemā aizsalst. Šādām upēm pēc ledus režīma var izdalīt trīs periodus: (I) aizsalšana vai rudens ledus parādības, (II) ledstāve un (III) ledus uzlūšana un iešana vai pavasara ledus parādības (Михайлов и.д., 2005; Beltaos, 2008).

Rudenī, kad diennakts vidējā gaisa temperatūra pazeminās zem 0 °C, tas ir signāls, ka tuvojas rudens ledus parādību sākums (Михайлов и.д., 2005; Hicks, 2009) un, ja ūdens plūsma ir lēna, vispirms veidojas virsas ledus jeb tā saucamais vizmas ledus – plāna ledus plēvīte, kas sastāv no ledus kristāliem sīku adatiņu veidā (Михайлов и.д., 2005; Shen, 2010). Vizmas ledus parasti peld pa upi 3 – 8 dienas. Tajā pašā laikā pie krasta, kur ūdens plūsmas ātrums ir mazāks, veidojas piesalas – nekustīgas, plānas un šauras ledus josliņas (Михайлов и.д., 2005; Beltaos and Prowse, 2009; Hicks, 2009). Vietās, kur ūdens plūsma ir straujāka, virsas ledus uzreiz neveidojas, bet notiek ūdens pārsedze, t.i., ūdens temperatūras pazemināšanās zem 0 °C un veidojas ūdeņu iekšledus – parasti vižņi (Sarma, 1960; Shen, 2010). Vižņi ir necaurspīdīga, poraina ledus masa, kas sastāv no haotiski saaugušajiem ledus kristāliem (Beltaos and Prowse, 2009). Vižņu veidošanās notiek galvenokārt divu noteiktu apstākļu rezultātā – jānotiek upes ūdens slāņa pilnai atdzišanai un ūdenī ir jābūt ledus kristalizācijas kodoliem (sīkiem ledus kristāliņiem, suspendētām sīkām, cietām daļiņām u.c.) (Михайлов и.д., 2005). Savukārt iekšledu, kas veidojies uz upes gultnes negludumiem, piemēram, oļiem un laukakmeņiem, sauc par gultnes jeb piegultnes ledu (Михайлов и.д., 2005; Hicks, 2009).

Procesu, kad vižņi sasalst lielākos gabalos un pārvietojas pa teces virskārtu vai visā aktīvajā šķērsgriezumā, sauc par vižņu iešanu (Beltaos and Prowse, 2009). Rudens ledus iešana lielās upēs ilgst 10 – 12 dienas, bet mazās līdz 7 dienām (Михайлов и.д., 2005). Ūdenim atdzīstot un vižņiem apstājoties lēnākās upes vietās, noris strauja ledus segas veidošanās virzienā no krastiem uz upes vidu, kas parasti pārklāj visu upi (Sarma, 1960). Dažreiz vižņiem augšējos slāņos pievienojas ledus atlūzas no krasta un sniegs, kas tikko izkritis uz ūdens virsmas. Pieturoties negatīvām gaisa temperatūrām, upe agrāk vai vēlāk pārklājas ar ledus segu, iestājas ledstāve. Tikai atsevišķās upes vietās saglabājas lāsmeņi, kas neaizsalst visu gadu.

Dažkārt vižņu un citu ledus veidojumu masai, sastopot jau izveidojošos ledus segu, veidojas ledus sablīvējumi un ledus virsa veidojas nelīdzena, ar lielākiem vai mazākiem krāvumiem (Hicks, 2009). Ja ūdens plūsma ir spēcīga un gaisa temperatūras pazemināšanās ir strauja, ledus sablīvējumi pieņem bīstamus apmērus, jo upes aktīvajā šķērsriezuma lielākā daļa sablīvējas ar ledus masu un ūdens līmenis strauji ceļas (Sarma, 1960).

Upes vietās, kur vērojama strauja ūdens tece (krāces), ledus sega neizveidojas. Šeit ūdens saskaras ar auksto gaisu un turpina atdzīst, kas palielina ledus kristālu veidošanos (Beltaos, 2008; Hicks, 2009). Kā jau iepriekš minēts, tad ledus kristāli pārklāj upes gultnē esošos priekšmetus, veidojot gultnes ledu. Bieži vien gultnes ledus izveidojas ap nelieliem akmeņiem, kas, ledus apklāti, paceļas uz augšu un ar upes ūdeni pārvietojas uz leju (Sarma, 1960). Neaizsalušajās vietās atdzisušais ūdens pastiprina arī vižņu veidošanos (Shen, 2010). Vietās, kur zema gaisa temperatūra, vižņi var sablīvēties zem ledus, samazinot aktīvo šķērsriezuma laukumu un apgrūtinot ūdens plūšanu, kas nozīmē, ka lejpus sablīvējuma caurteces daudzums samazinās, bet augšpusē vērojama līmeņa paaugstināšanās (Михайлов и.д., 2005). Dažreiz augšpus sablīvējuma ūdens izspiežas virs ledus segas un sasalstot palielina ledus segas biezumu (Hicks, 2009).

Upēm pārklājoties ar ledus segu, palielinās hidrauliskās pretestības (Hicks, 2009; Shen, 2010). Šā apstākļa dēļ atsevišķos gadījumos ūdens līmenis upē paaugstinās, palielinās aktīvais laukums, savukārt caurteces daudzums nepalielinās, bet, tieši otrādi, var kļūt mazāks, jo teces ātrums zem ledus vienmēr ir mazāks nekā brīvā gultnē, turklāt sala dēļ samazinās arī virsmas notecē (šie apstākļi kopā var samazināt upes noteci pat par 50 – 75%) (Sarma, 1960).

Kā iepriekš tika minēts, tad, palielinoties vižņu daudzumam un pieturoties negatīvām gaisa temperatūrām, iestājas ledstāve. Par ledstāvi dēvē periodu, kura laikā vērojama vienlaidus nekustīgas ledus segas izveidošanās upē un tās ilgums un ledus segas biezums ir atkarīgs no ziemas ilguma, temperatūras režīma, upes straumes ātruma, sniega biezuma un vēja režīma (Sarma, 1960; Beltaos, 2008; Beltaos and Prowse, 2009). Sākumā ledstāve izveidojas sašaurinātajos upju posmos, pie salām un mazajās pietekās, bet pēc tam arī pārējā upē (Beltaos and Prowse, 2009; Hicks, 2009). Mazajām upēm raksturīgi, ka ledstāve var izveidoties arī bez vižņu iešanas, piemēram, piekrastes piesalām paplašinoties un sasalstot kopā (Михайлов и.д., 2005). Ja upē izveidojušies vižņi, piegultnes ledus vai uz ledus virsas sakrājušies sniega putra, ledus sega veidosies necaurspīdīga un ar mikroreljefu, savukārt ja upē nav izveidojušās iepriekšminētās ledus parādības un upe ir brīva, tad ledus kristāli augs vertikāli uz leju, veidojot caurspīdīgu un gludu ledus segu (Beltaos, 2008).

Atsevišķās vietās upe var neaizsalt kādu laika periodu vai pat visu ziemu un šādas vietas sauc par lāsmeņiem (Михайлов и.д., 2005). Šādas vietas veidojas, kur novērojami lielāki straumes ātrumi, piemēram, krācēs un straujtecēs, pie hidrotehnisko būvju lejas bjeļa, un vietās, kur izplūst siltāki pazemes ūdeņi vai tiek iepludināti komunālie un rūpniecības ūdeņi (Sarma, 1960; Михайлов и.д., 2005). Tādējādi lāsmeņi var būt gan dinamiskie, gan termiskie (Михайлов и.д., 2005).

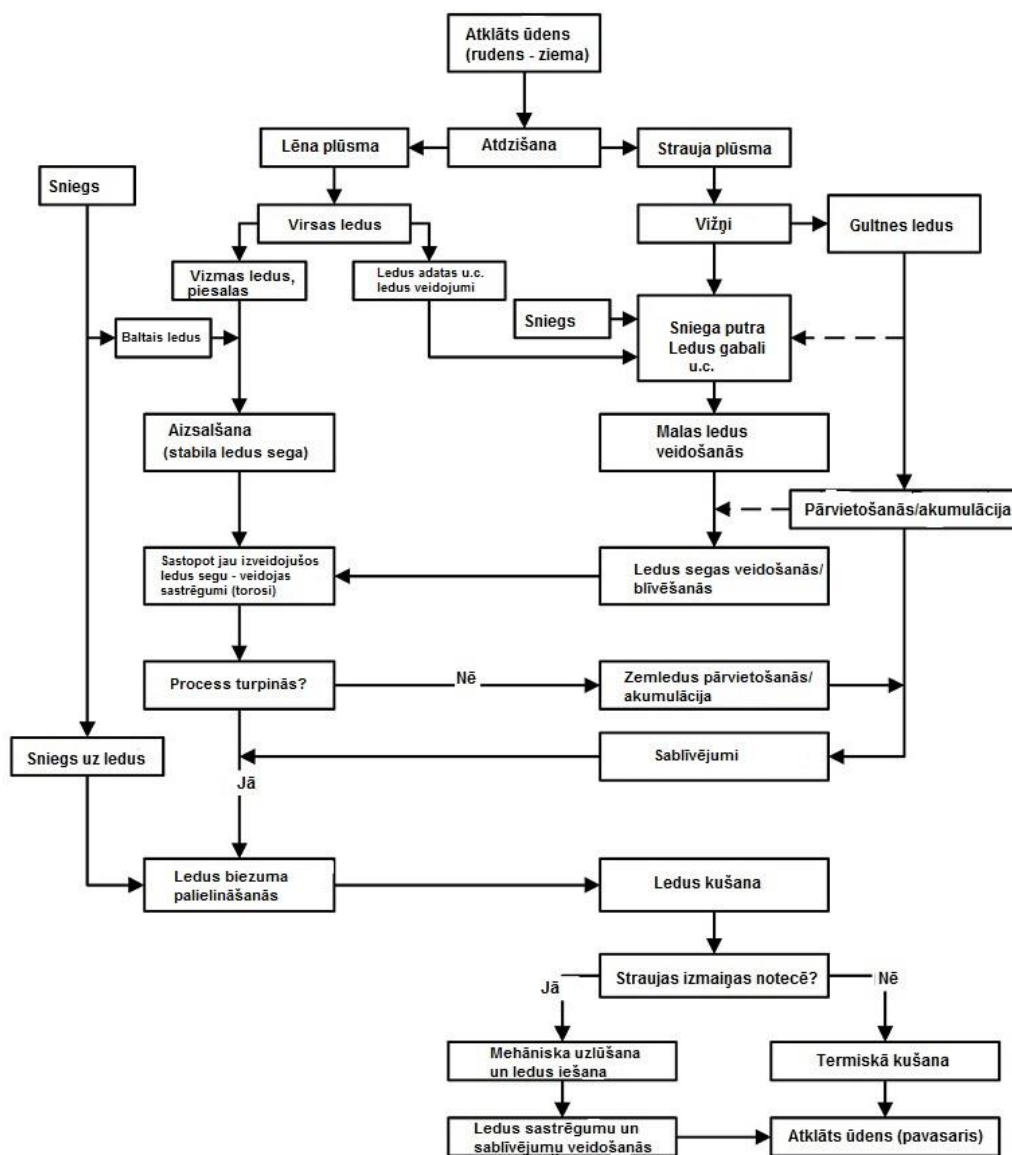
Ledstāves laikā, pieturoties negatīvām gaisa temperatūrām, ledus segas biezums pakāpeniski palielinās (Beltaos and Prowse, 2009), turklāt ledus sega ir labs siltuma izolators, kas aizkavē turpmāko ūdens atdzišanu, it sevišķi, ja virs ledus segas uzsnidzis sniegs (Sarma, 1960). Tā kā zināmu siltuma daudzumu ledus segas apakšējai malai piegādā relatīvi siltākās ūdens plūsmas, bet gaisa temperatūrām pieturoties negatīvām, agrāk vai vēlāk iestājas līdzsvars starp pienākošo un caur ledus segu zaudēto siltumu un līdz ar to ledus segas biezums vairs būtiski nemainās (Михайлов и.д., 2005). Taču ledus segas biezums var ievērojami palielināties veidojoties uzleidojumiem, kas rodas sasalstot uz ledus segas uzplūdušajam upes ūdenim (Beltaos and Prowse, 2009; Hicks, 2009). Šādas situācijas veidojas upēm aukstos klimatiskos apstākļos hidrostatiskā spiediena ietekmē, kad gultni apgrūtina bieža ledus sega – rezultātā uz ledus virsmas izplūst upes ūdens, sasalstot un veidojot otrreizēju ledus segu jeb uzleidojumu (Beltaos, 2008; Михайлов и.д., 2005). Kā iemesli uzleidojumam var būt arī atkušņa iestāšanās un strauja sniega kušanas ūdeņu pieplūde upei.

Ledus režīma pēdējā fāze notiek pavasarī, sākoties pavasara ledus parādībām – ledus uzlūšanai un iešanai. Upēs ledus uzlūšana var notikt gan termisku, gan mehānisku apstākļu rezultātā (Beltaos and Prowse, 2009; Hicks, 2009). Termisko procesu ietekmē ledus sega pakāpeniski nokūst un paliek vājāka, līdz ledus sega vairs nespēj pretoties straumei un uzlūzt (Beltaos and Prowse, 2009; Maidment, 1993). Savukārt uzlūšana mehānisku apstākļu dēļ notiek pretēji, kad bieža, izturīga ledus sega, kas var būt joprojām piesalusi pie upes krastiem, uzlūzt pavasara palu dēļ, kurus izraisa strauja sniega kušanas ūdeņu pieplūde upei (Maidment, 1993; Shen, 2010). Lielākoties ledus segas uzlūšanas iemesls ir abu iepriekšminēto faktoru kopums – atkušņa iestāšanās un sniega kušanas ūdeņu pieplūde upei (Sarma, 1960). Sākoties ledus uzlūšanai, vispirms ledus tiek pacelts, veidojas piekrastes vaļumjoslas. Savukārt piekrastes ledum paliekot piesalušam pie gultnes, ledus sega uzlūst upes vidū un tā kā ledus tiek paskalots arī no apakšas, tad notiek ledus sakustēšanās un pēc tam arī ledus iešana (Sarma, 1960; Beltaos, 2008). 1.3. attēlā atspoguļots shematisks ledus veidošanās process, kas var tikt novērots upēs ziemas laikā.

Upēs, kuras plūst no ziemeļiem uz dienvidiem, kā arī daudzās mazajās upēs ledus uzlūšana notiek galvenokārt saistībā ar termiskajiem faktoriem (nedaudz ātrāk, apstaidzot pavasara plūdu viļņa sākšanos, un uzlūšana notiek samērā mierīgi), turklāt uzlūšana sākas no upes lejteces virzienā uz augšteci (Михайлов и.д., 2005). Daudz straujāka ledus uzlūšana notiek upēm, kuras plūst no dienvidiem uz ziemeļiem, jo šajā gadījumā galvenais faktors ir dinamiskais, proti, iedarbojoties sniega kušanas ūdeņiem, jo ledus iešana sakrīt ar palu ūdeņu vilni un bieži saistīta ar ledus sastrēgumiem, turklāt ledus uzlūšana upju lejtecēs sākas daudz vēlāk nekā augštecēs (Михайлов и.д., 2005).

Pavasārī, ledus iešanas laikā, atsevišķos upes posmos bieži izmainās ūdens līmeņa augstums un caurteces daudzums, jo ledus iešana bieži vien saistīta ar ledus sastrēgumiem, kas rada šķēršļus ūdens kustībai (Sarma, 1960). Sastrēguma rašanās laikā lejpus sastrēguma caurteces daudzums samazinās, bet augšpus sastrēguma ūdens līmenis ceļas līdz sastrēguma likvidēšanās momentam (Beltaos and Prowse, 2009). Ledus sastrēguma likvidēšana (gan dabiskā ceļā – kušanas ūdeņu vai pavasara siltuma pieplūdes, kā arī mākslīgā veidā – pielietojot ledus uzlaušanu vai spridzināšanu) bieži noved pie palu ūdeņu (plūdu) viļņa izveidošanās (Михайлов и.д., 2005). Sastrēgumam likvidējoties, lielas ūdens masas sāk gāzties uz leju, apdraudot hidrotehniskās būves un applūdinot apkārtni (Sarma, 1960).

Upe no ledus var atbrīvoties arī bez ledus iešanas, kad ledus izkūst uz vietas. Šāda atbrīvošanās no ledus segas visbiežāk novērojama uz mazām upēm un pēc ledus segas sairšanas, pie krastiem vērojamas nekustīgas ledus joslas jeb palieku piesalas (Sarma, 1960). Upes krastos un palienē pēc ledus iešanas var izveidoties arī ledus krautņi vai torosi – ledus krāvumi, parasti vaļņu veidā (Sarma, 1960).



1.3. att. Shematisks ledus veidošanās process (Shen, 2010)

## 1.2. Klimata pārmaiņu ietekme uz upju hidroloģisko režīmu

Klimats ir ilggadējs laikapstākļu kopums, kas var apvienot gan pāris gadus līdz pat gadu tūkstošus. Klimatu raksturo vidējas un ilglaicīgas atmosfēras fizikālo rādītāju vērtības, kas raksturīgas Zemei kopumā (globālais klimats) vai noteiktai teritorijai (valstij vai reģionam). Konkrētās teritorijas klimats ir daudz pastāvīgāks nekā laika apstākļi, un klimatu nosaka Saules starojuma daudzums un sadalījums gada laikā, atmosfēras cirkulācijas raksturs un mitruma apmaiņa, kā arī ģeogrāfiskie apstākļi (zemes virsmas raksturs, attālums no jūras vai okeāna, jūras straumes, veģetācija, sniega un ledus sega utt.) (Темникова, 1958).

Klimata izmaiņas var definēt dažādi. Viens no veidiem ir definēt klimata pārmaiņas kā klimatisko nepastāvību jeb mainīgumu, ko nosaka galvenokārt dabiskie procesi, bet ir arī otra iespēja, kad klimata pārmaiņas tiek definētas saistībā ar tiešu vai

netiešu cilvēka darbības ietekmi, kur dabiskais klimata mainīgums netiek ņemts vērā. Taču, piemēram, Klimata pārmaiņu starpvaldību padome (angļu val. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*) definē klimata izmaiņas salīdzinoši plaši, pieņemot, ka klimata izmaiņas ir jebkuras izmaiņas, kas notikušas laikā neatkarīgi no tā, vai izmaiņu cēloni nosaka dabiskais klimata mainīgums vai arī cilvēka darbība (Bolle *et al.*, 2008).

Tomēr klimata sistēma ir sarežģīta un klimata mainības izpēte ir tikai sākuma stadijā. Acīmredzams, ka pašreizējās zināšanas par klimata mainību ir pretrunīgas un pieļauj vienu un to pašu faktu dažādu interpretāciju, tādēļ arī zinātnieku vidū pastāv dažādi uzskati – piemēram, viens, ka klimata izmaiņas un globālo sasilšanu izraisa tikai dabiski notiekoši procesi, otrs, kad klimata izmaiņas tiek tieši saistītas ar cilvēka saimniecisko darbību un trešais, kad klimata izmaiņas tiek saistītas gan ar dabiskajiem procesiem, gan cilvēka saimniecisko darbību.

Arī saistībā ar dabisko klimata mainību pastāv dažādas tā interpretācijas. Raugoties no dabisko procesu attīstības tendencēm, īpaši ņemot vērā pēcdeduslaikmetā jau notikušo klimatisko apstākļu pārmaiņu secību – no siltā un mitrā atlantiskā laika uz tagadējo vēso un mitro subatlantisko – ir zināms pamats uzskatīt, ka kopumā siltais pēcdeduslaikmets, kurš turpinās jau aptuveni 10 000 – 12 000 gadu, varētu tuvoties noslēgumam. Tomēr pašreizējo pēcdeduslaikmetu (holocēnu) ne mazāk pamatoti var arī uzskatīt par vēl vienu interglaciālu jeb starpleduslaikmetu un varbūt tagad, kad izpaužas globālā sasilšana, iezīmējas kāds starpleduslaikmeta klimatiskais optimums (Āboltniņš, 2010). Pēdējos gadu desmitos notiekošā klimatiskā sasilšana izskatās līdzīga tai, kas izpaudās iepriekšējā gadsimta 30 – 40 gados – proti, sarūk ar arktisko ledu klātās platības Ziemeļu Ledus okeānā, kalnos atkāpjas ledāji un samazinās to biezums, savukārt globālās temperatūras pieaugums vērojams robežās no 1,0 – 1,4 °C, bet reģionāli atsevišķās vietās temperatūras palielināšanās sasniedz pat 8 – 10 °C (Āboltniņš, 2010). Tātad iespējams, ka varbūt cilvēka saimnieciskajai darbībai nav noteicošas lomas un sasilšanu, tāpat kā atdzišanu, ietekmē tikai dabiskie procesi, kuru pārmaiņas vairāk vai mazāk izpaužas regulāri. Dabiski noritošo procesu ietekmju piemērs ir Saules starojuma un kosmiskā starojuma mainība, Zemes orbitālās un rotācijas kustības rakstura izmaiņas, okeānu ūdeņu plūsmu mainība, jūru un okeāna ūdeņu un atmosfēras mijiedarbība, kā arī ģeoloģiskās un kosmiskās katastrofas (Kļaviņš u.c., 2008; Arnell, 2002).

Taču ir uzskati par to, ka klimatu pēdējo 100 gadu laikā raksturo pārmaiņas, kas ir salīdzinoši straujas, salīdzinot ar izmaiņu raksturu pēdējo tūkstošgadu laikā, kā arī garākā laika posmā. Tiek vērtēts, ka laika posmā no 1861. – 2005. gadam Zemes vidējā temperatūra ir pieaugusi par  $0,6 \pm 0,2$  °C, turklāt temperatūras pieaugums ir noticis galvenokārt laika posmā no 1910. – 1945. gadam un no 1976. gada līdz mūsdienām (Kļaviņš u.c., 2008). Klimata pārmaiņu raksturs saistāms ne tikai ar temperatūras pieaugumu, bet arī ar izmaiņām nokrišņu daudzumā, ekstremālo klimatisko parādību biežuma mainībā un citu klimata raksturojošo parametru būtiskām izmaiņām (Kļaviņš u.c., 2008). Straujās pēdējo 100 gadu pārmaiņas tieši saistītas ar cilvēka darbību, jo šo gadu laikā ir ievērojami palielinājusies lielākā daļa siltumnīcefekta gāzu koncentrācija gaisā, ko vislabāk pierāda tieši CO<sub>2</sub> koncentrācijas pieaugums. Kā nozīmīgākie CO<sub>2</sub> avoti, kas saistīti ar cilvēka saimniecisko darbību, tiek minēti fosilā kurināmā sadedzināšana, lauksaimnieciskā ražošana, kā arī naftas pārstrāde. Siltumnīcefekta gāzu koncentrāciju pieaugums atmosfērā antropogēno izmešu veidā izraisa Zemes virsmas un atmosfēras papildu sasilšanu un negatīvi ietekmē klimatu, kā arī palielina klimata mainības raksturu, kas savukārt ietekmē atmosfēras cirkulācijas raksturu (Kļaviņš u.c.,

2008). Jau 20. gadsimta beigās aizvien lielāka uzmanība tiek pievērsta klimata izmaiņu pētījumiem saistībā ar globālajiem atmosfēras cirkulācijas procesiem (piemēram, NAO un angļu val. *El Nino – Southern Oscillation* (ENSO)) un hidroloģisko režīmu un to reģionālajām izpausmēm (Parry *et al.*, 1996; Amarasekera *et al.*, 1997; Simpson and Colodner, 1999). Taču, tai pašā laikā nevar aizmirst, ka principiāla nozīme CO<sub>2</sub> koncentrācijas pieaugumā ir arī vulkānismam un gāzu emisijai tektoniskā spredinga zonās, kā arī vairumā iekškontinentālo riftu tipa lūzumu sistēmās (Āboltnišs, 2010), kas ir dabiski notiekoši procesi.

Mūsdienās ir pierādīts, ka klimata pārmaiņas un globālais temperatūras pieaugums ietekmē arī globālo hidroloģisko ciklu un tā procesus, tajā skaitā arī Baltijas jūras sateces baseinā. Pēdējo 100 gadu laikā (laika periodā no 1861. – 2000. gadam) Baltijas jūras sateces baseinā gada vidējais temperatūras pieaugums ir augstāks attiecībā pret tendenci, kāda novērojama pasaulē (attiecīgi no 0,10 – 0,07 °C Baltijas jūras reģionā, 0,05 °C pasaulē) (Bolle *et al.*, 2008). Globālās sasilšanas ietekmē ziemās samazinās to dienu skaits, kad novērojamas ļoti zemas temperatūras, kā arī samazinās ledus segas ilgums un biezums upēs un ezeros (galvenokārt Baltijas jūras sateces baseina A un DA daļā), kā arī notikusi veģetācijas perioda pagarināšanās (HELCOM, 2007; Bolle *et al.*, 2008). Globālo klimata izmaiņu sekas var ļoti labi parādīt novērojot parametrus, kas raksturo hidroloģisko režīmu, tādi, kā, piemēram, ledus iešanas ilgums upēs (Kļaviņš *et al.*, 2002b).

Pēc H.J. Bolles u.c. (Bolle *et al.*, 2008) informācijas pirmie plašākie pētījumi par upju noteci Baltijas jūras sateces baseinā veikti 1970. gadā poļu zinātnieka Z. Mikulski vadībā. Pētījumā analizēti lielāko upju caurplūdumi laika posmā no 1951. – 1960. gadam, kā arī noteces sezonālās izmaiņas (Mikulski, 1970). 1994. gadā plaši pētījumi veikti arī analizējot laika posmu no 1950. – 1990. gadam, balstoties uz caurplūduma datiem par ~ 200 upēm, tādējādi aptverot aptuveni 86 % no kopējā Baltijas jūras sateces baseina (Bolle *et al.*, 2008). Taču saistībā ar klimata pārmaiņu ietekmi uz Baltijas jūras sateces baseinu, tai skaitā upju noteci, lielākā daļa pētījumi veikti 21. gs. sākumā (Jārvet, 2003; Kilkus *et al.*, 2006; Rogozova, 2006; Dankers *et al.*, 2007; Bolle *et al.*, 2008; Kriaučiūniene *et al.*, 2008; Graham *et al.*, 2009; Apsīte *et al.*, 2010 u.c.). Iepriekšminētie pētījumi apstiprina izmaiņas ne tikai gaisa temperatūrā, atmosfēras nokrišņos un atmosfēras cirkulācijā, bet arī upju notecē, kas nozīmē, ka klimata izmaiņas ietekmē virszemes ūdeņu hidroloģisko režīmu. Iezīmējas tendence, ka, pieaugot nokrišņu daudzumam, palielinās upju notece, bet temperatūras pieaugums savukārt ietekmē (palielina) iztvaikošanu, kā rezultātā upju notece samazinās, kas tālāk var savukārt ietekmēt arī ledus režīmu (Bolle *et al.*, 2008).

Tāpat tiek veikti pētījumi par klimata izmaiņu ietekmi uz hidroloģiskā režīma izmaiņām nākotnē. Novērtējot klimata pārmaiņu ietekmi uz upju hidroloģisko režīmu Baltijas valstīs, redzams, ka, piemēram, Lietuvā pēc J. Kriaučiūnienes u.c. (Kriaučiūniene *et al.*, 2008) pēdējā pētījuma Nemunas upes baseinam prognozēts noteces apjoma pieaugums ziemā un samazinājums pavasarī, savukārt vasarā un rudenī prognozētas gan pieauguma, gan samazinājuma tendences. Taču attiecībā uz kopējo gada noteci Nemunas baseinā 21. gs. beigās prognozēts samazinājums. Nedaudz agrākā pētījumā K. Kilkus u.c. (Kilkus *et al.*, 2006), izmantojot dažādus globālos klimata modeļus (angļu val. *General circulation model*, GCM), savukārt prognozē gada noteces apjoma pieaugumu, taču iezīmējas kopēja tendence – pavasarī noteces apjoms samazinās, bet ziemā pieaug.

Arī pēc J. Jarveta (Jārvet, 2003) pētījuma, kas veikts Igaunijā, vērojams noteces apjoma pieaugums. Prognozētais pieaugums svārstās robežās no 5 – 72 % atkarībā no

upes baseina un tā atrašanās vietas. Taču, tāpat, kā pētījumos Lietuvā un arī Latvijā, vērojams pavasara noteces samazinājums.

Latvijā, saistībā ar klimata izmaiņu ietekmi uz Latvijas upju hidroloģisko režīmu, ir veikti vairāki pētījumi (Butina *et al.*, 1998; Rogozova, 2006; Bethers and Seņņikovs, 2009; Apsīte *et al.*, 2009; Kurpniece *et al.*, 2010; Apsīte *et al.*, 2010 u.c.). Piemēram, U. Bethera un J. Seņņikova (Bethers & Seņņikovs, 2009) veiktajā pētījumā izmantoti 3 dažādi hidroloģiskie modeļi – MIKE BASIN, MIKE SHE un FIBASIN (modeļi pielietoti Dubnas, Salacas, Bērzes un Abavas baseiniem) un tiek prognozēts, ka palu maksimumi kļūs ievērojami mazāki, ziemas periodā (janvārī un februārī) notece ievērojami pieaugs, savukārt periodā no augusta līdz novembrim vērojams neliels noteces apjoma pieaugums. Arī E. Apsītes u.c. (Apsīte *et al.*, 2010) pētījums, kurā izmantots METQ2007BDOPT hidroloģiskais modelis, apstiprina noteces apjoma samazināšanos. Būtiskākās izmaiņas hidrometeoroloģiskajos parametros, salīdzinot kontroles periodu ar nākotnes scenārijiem, saistītas ar A2 scenāriju, kur temperatūras pieaugums prognozēts par 4 °C un nokrišņu pieaugums par 12 %, savukārt noteces apjoma samazinājums par 19 %. Kopumā pēc abiem scenārijiem (A2 un B2) vērojamas noteces sezonālās izmaiņas, kur lielākais noteces apjoms prognozēts ziemas sezonā, kam seko pavasaris, rudens un vasara. Noteces apjoma pieaugums ziemas sezonā prognozēts par 7 – 18 % saskaņā ar A2 scenāriju, bet par 4 – 12 % pēc B2 scenārija.

M. Butinas u.c. (Butina *et al.*, 1998) pētījums Lielupes baseinā, izmantojot HBV hidroloģisko modeli, norāda uz noteces apjoma pieaugumu ziemas mēnešos un pavasara palu agrāku iestāšanos, kā arī uz kopējās gada noteces paaugstināšanos pat par 50 – 80 %, izmantojot GENESIS GCM, bet pēc UKMO GCM pieaugums nav tik liels, tikai 5 – 10 %. Savukārt S. Rogozovas (2006) pētījums, kurā arī izmantots HBV modelis Irbes un Gaujas baseiniem, apstiprina gan noteces samazināšanos, gan pieaugumu. Izmantojot ECHAM4/OPYC3 GCM pēc abiem nākotnes klimata scenārijiem (A2 un B2) prognozēts noteces apjoma pieaugums par 12 – 16 %, bet izmantojot HadAM3H GCM prognozēts noteces apjoma samazinājums par 2 – 7 %. Atšķirības tiek skaidrotas ar nokrišņu daudzuma izmaiņām pēc dažādiem GCM un nākotnes scenārijiem.

Arī L. Kurpniece u.c. (Kurpniece *et al.*, 2010) izmantojot HBV hidroloģisko modeli Aiviekstes un Daugavas upes baseiniem, prognozē noteces apjoma pieaugumu par 19 – 27 %. Ievērojamākās izmaiņas saistāmas ar ziemas sezonu, kas noteces pieaugums prognozēts par 30 – 77 %, bet pavasarī noteces samazinājums par 6 – 39 %.

Savukārt M. Kļaviņš u.c. (2008) norāda, ka nākotnes upju režīmu raksturo ne tikai augsta caurplūdumu sezonālā mainība, bet arī izteikta mazūdens periodu nomaiņa ar laika posmiem, kuros upju caurplūdumi ir izteikti augstāki nekā vidējās vērtības vai caurplūdumu vērtības kontroles periodā (1961. – 1990. gads). Tāpat statistiski ticams caurplūduma pieaugums novērojams ziemas sezonā. Šāds upju noteces mainības raksturs sakrīt ar temperatūras, atmosfēras nokrišņu un ledus segas mainības sezonālo raksturu.

Kopumā Baltijas jūras sateces baseina upēm raksturīgs izteikts starpgadu mainīgums. Kaut arī gada kopējā saldūdens ieplūdē visā Baltijas jūrā pēdējo 84 gadu laikā (no 1921. – 2005. gadam) nav izdevies konstatēt statistiski ticamu izmaiņu tendenci, noplūde no sateces baseina Z daļas ziemas (decembris – februāris) un pavasara (marts – maijs) mēnešos ir būtiski pieaugusi. Kopš 20. gs. 50. – 60. gadiem būtiska pieauguma tendence (vidēji par 30 – 50 %) vērojama notecē no sateces baseina DA un D daļas: Polijas, Krievijas, Igaunijas, Latvijas un Baltkrievijas teritorijas (HELCOM, 2007).

### 1.3. Iekšzemes ūdeņu monitoringa attīstība Latvijā

Bijušās Krievijas impērijas valdības iestādes sistemātiskus hidroloģiskus novērojumus mūsdienu Latvijas teritorijas robežās veica tikai nedaudzos punktos. Iekšējos ūdeņos ūdens līmeņa novērošanas posteņi bija ierīkoti: Daugavā laikā no 1876. – 1877. gadam Bolderājā, Rīgā, Jaunjelgavā, Meņķu muižā, Daugavpilī un Drujā; Ventā no 1896. – 1897. gadam Abavas muižā, Kuldīgā un Putnu dārzā; Lielupē no 1902. – 1903. gadam Jelgavā un Emburgā un Gaujā 1909. gadā pie Gaujas Daugavas kanāla un Valmieras (Sarma, 1960). Lielākā daļa no šiem posteņiem pirmskara laikā piederēja pie II šķiras, kas nozīmēja, ka ūdens līmeņus atzīmēja tikai no ledus brīvā upē. Tas skaidrojams ar to, ka pirmskara laikā iekšējo ūdeņu pārvalde interesējās par upēm un ezeriem, kā par satiksmes ceļiem – plostošanai un kuģošanai (Stakle, 1931). Vēl trūcīgāki ir dati par caurplūdumu mērījumiem šajā laika posmā. Līdz pat 1906. gadam daudz maz sistemātiski mērījumi izdarīti Daugavā vien laika posmā no 1886. – 1888. gadam inženiera N. Šeļutas vadībā un Ventā periodiski no 1902. – 1904. gadam inženiera M. Šistovska vadībā, sakarā ar Ventas – Nemunas ūdensceļa pētījumiem (Stakle, 1931). Vēlāk Daugavas krāčainās daļas pētīšanai ierīkoja 2 hidroloģiskās novērojumu stacijas: krāču sākumā pie Krustpils (darbojās laikā no 1906. gada 6. oktobra līdz 1909. gada 28. aprīlim) un lejpus Aizkraukles (darbojās 1910. gadā laikā no 3. aprīlim līdz 5. jūnijam) (Stakle, 1931).

Samērā seni dati par ledus iešanu pie Rīgas savākti no K.G. Zontaga (vācu val. *Dr. K.G. Sonntag*) saglabātajiem pierakstiem. Par ledus iziešanu skaitīts tas moments, kad ledus pie Rīgas pilsētas pretīm Svērtuves vārtiem (vācu val. *Schalpforte*) sakustējās, lai drīzumā pēc tam izietu, bet aizsalšana skaitīta no dienas, kad rudenī pirmo reizi visa upe pārklājās ar nepārtrauktu ledus kārtu, jeb vismaz starp Daugavas salām pie pilsētas iestājās tik bieza ledus sega, ka par to bija iespējams pārvietoties (Stakle, 1931). Tas gan nenozīmē, ka ledus sega bija nepārtraukta visu laiku. Bieži bija novērojama parādība, ka Daugava pie Rīgas rudenos vienu, divas pat trīs reizes aizsalst un atkal iziet. Tāpat pavasaros ledus nereti sakustas, iesāk iet, bet, salam uznākot, apstājas uz vienu divām dienām līdz pat vairākām nedēļām, kad notiek atkal jauna ledus iešana. Šāda parādība, kad visu rudeni Daugava neaizsala novērojama, piemēram, 1616. gadā, kad ledus uzsala tikai 11. februārī, bet 1617. gadā upe pārklājās ar ledu 7. martā, kas dažas dienas vēlāk arī izgāja (Stakle, 1931). No agrākajiem novērojumu gadiem ir saglabājušies un atzīmēti tikai no parastiem atšķirīgie, uzkrītošie aizsalšanas datumi, bet ledus iziešanas momentu atzīmēti daudz rūpīgāk, jo tiem bija saistība ar biežiem, daudzkārt pat postošiem ledus sastrēgumiem Daugavas lejasdaļā (Stakle, 1931). Tātad Daugavā pie Rīgas saglabājušies novērojumi par ledus iziešanu no 1530. – 1929. gadam (atsevišķos gados ir novērojami pārtraukumi, nav sistemātiski visi gadi pēc kārtas), savukārt aizsalšanas novērojumi pa atsevišķiem gadiem pieejami no 1601. gada, ar 1805. gadu novērojumi jau biežāki, bet principā bez pārtraukumiem aizsalšanas novērojumi pieejami no 1821. – 1910. gadam (Stakle, 1931). Gadi, kad plūdi nodarīja lielus zaudējumus Rīgas pilsētai, ir: 1358., 1578., 1589., 1597., 1615., 1618., 1649., 1709., 1727., 1744., 1770., 1771., 1795., 1807., 1814., 1829., 1837. gads (Stakle, 1931).

Latvijas pastāvēšanas laikā sistemātiski caurplūduma mērījumi Latvijas upēs iesākti 1925. gadā. Pavisam līdz 1929. gada 31. oktobrim tā laika Finanšu ministrijas Jūrnieceības departaments veicis Daugavā 235 un tās baseinā 86 mērījumus, Lielupē 42 un tās baseinā 110 mērījumus, Ventā 63 un citās upēs 51 mērījumu (Stakle, 1931). Mērījumu vietas bija izvēlētas tā, lai iegūtu datus par upju iespējamo izmantošanu satiksmei. Departamenta pārziņā 1929. gada beigās bija 67 posteņi (59 upēs, 2 ezeros, 6

jūras piekrastē) (Sarma, 1960). Kopumā Latvijas laikā hidrometriskos pētījumus Latvijas iekšzemes ūdeņos līdz 1941. gadam veica:

- ✓ Finanšu ministrijas jūrniecības departaments, vēlāk pārvalde, lielākajās upēs un ezeros;
- ✓ Zemkopības ministrijas Zemes ierīcības departaments, vēlāk pārvalde, meliorācijas nolūkos regulējamās upēs un ezeros
- ✓ Satiksmes ministrijas dzelzceļu virsvalde un šoseju un zemesceļu departaments atsevišķi pie dažiem tiltiem plūdu laikā (Stakle un Kanaviņš, 1941).

Sistemātiski ūdens temperatūru mērījumi iesākti 1932. gadā (Stakle un Kanaviņš, 1941).

Pēc Jūrniecības departamenta likvidēšanas 1941. gadā posteņus un hidroloģisko novērojumu materiālus savā pārziņā pārņēma Latvijas PSR Hidrometeoroloģiskā dienesta pārvalde (Sarma, 1960). Tika izvērtēti agrākie hidroloģiskie novērojumi, pārkārtots posteņu tīkls un likvidēti tie posteņi, bez kuriem varēja iztikt noteces režīma raksturošanai. Sevišķa uzmanība tika pievērsta arī noteces aprēķināšanas jautājumiem, jo tas saistījās ar hidrotehniskās būvniecības attīstību Latvijas PSR (Sarma, 1960).

Latvijā PSR laikā upēs izdarīti samērā daudz hidroloģisko novērojumu. Hidroloģisko posteņu tīkls Baltijas jūras baseina upēm salīdzinājumā ar citiem PSRS upju baseiniem, ir samērā biezs. Posteņi, kuros ilgāku vai īsāku laiku izdarīti regulāri hidroloģiskie novērojumi Latvijas PSR teritorijā sniedzas pie 500, no tiem ap 125 posteņi darbojušies uz lielākām upēm, kā Daugava (46), Venta (20), Gauja (19), Aiviekste (14) un Lielupe (8) (Pastors, 1964a). Daļa posteņu bijuši jūras piekrastē, kuros novēroti Rīgas līča un Baltijas jūras ūdeņi, bet pārējie 279 posteņi atradušies uz mazākām upēm un ezeriem (Pastors, 1964a). Upju hidroloģiskajos posteņos izdarīti vairāku hidroloģisko elementu, kā ūdenslīmeņa, ūdens temperatūras, ledus apstākļu, caurplūduma, sanešu kustības, ūdens ķīmiskā sastāva u.c. novērojumi (Pastors, 1964a). Protams, ne visos posteņos novēroti visi elementi. Lielākoties visos posteņos parasti novērots ūdens līmenis un ledus apstākļi, bet mazāk novērojumu ir par ūdens temperatūru un caurplūdumu, turklāt vēl mazāk, tikai dažos posteņos, par sanešu noteci un ūdens ķīmisko sastāvu (Pastors, 1964a).

Latvijas PSR laikā hidroloģiskie novērojumi Lauksaimniecības ministrijas Galvenās meliorācijas pārvaldes vadībā tika veikti arī mazajās upēs (Sarma, 1960).

1973. gadā Latvijas PSR teritorijā darbojās 96 hidroloģiskās novērojumu stacijas, kuras bija pakļautas Hidrometeoroloģiskā dienesta pārvaldei, un 77 citu pārvaldes iestāžu posteņi (Rudlapa, 2007). Bija izveidotas arī 4 specializētas novērojumu stacijas: Baltijas ūdens bilances stacija (Zosēnos), Rīgas grīvas stacija, Ķemeru purva stacija un Pļaviņu ūdenskrātuves (ezera) stacija, savukārt jau 1987. gadā darbojās 115 Valsts Hidrometeoroloģiskās pārvaldes un 38 Valsts Meliorācijas projektēšanas institūta noteces hidroloģiskie posteņi (Rudlapa, 2007).

2002. gada 1. decembrī darbu uzsāka Valsts aģentūra "Latvijas Hidrometeoroloģijas aģentūra". Kopš 2005. gada 1. janvāra hidroloģisko monitoringu Latvijā veica Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra (LVĢMA), kas attiecīgi 2007. gadā hidroloģiskos novērojumus veica 53 upju posteņos (LVĢMA, 2007). LVĢMA veica ne tikai ūdens līmeņa un caurplūduma, bet arī upju cietvielu noteces, ūdens temperatūras, ledus biezuma un ledus parādību novērojumus (LVĢMA, 2007).

Savukārt 2009. gada 1. augustā, saskaņā ar 2009. gada 1. jūlija Ministru kabineta rīkojumu Nr. 448 līdz 2009. gada 1. augustam tika likvidēta v/a LVĢMA un dibināta

valsts sabiedrība ar ierobežotu atbildību "Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs" (LVĢMC), kura bija LVĢMA tiesību un saistību pārņēmēja (LVĢMC, 2012).

2015. gadā hidroloģiskos novērojumus LVĢMC veic 79 novērojumu stacijās. No tām 70 hidroloģiskās stacijas veic virszemes hidroloģiskos novērojumus Latvijas upēs, ezeros un ūdenskrātuvēs ar tādu optimālu staciju izvietojuma blīvumu, kas nodrošina pietiekami kvalitatīvu hidroloģisko elementu (ūdens līmenis, ūdens temperatūra, caurplūdums, ūdens objekta stāvokļa raksturojums, ledus un sniega biežums u.c.) reģistrāciju un aprēķinus Latvijas lielākajos upju baseinos un ezeros, kā arī Baltijas jūrā un Rīgas līcī ietekošajās upēs. 74 novērojumu stacijas ir pilnībā automatizētas un nodrošina automātisku datu savākšanu un nogādāšanu datu bāzē to tālākai apstrādei un izmantošanai. Manuāli novērojumi tiek veikti Gaujas – Siguldas, Daugavas – Piedrujas un Pļaviņu ūdenskrātuves – Pļaviņu novērojumu stacijās (LVĢMC, 2015).

#### 1.4. Upju hidroloģiskā režīma pētījumi Latvijā

Ar iekšzemes ūdeņu hidroloģiskiem pētījumiem kopumā Latvijā darbojušies vairāki pētnieki. Pirmspadomju laikā pārskatu par Latvijas upēm devis I. Saule-Sleinis, vairāki darbi par ezeriem ir V. Ozoliņam, L. Slaucītājam, V. Zānam; J. Baumanis raksturojis Latvijas reljefu un hidroloģiju, savukārt M. Vēgeners pētījis plūdu noteces režīmu, bet R. Vītols devis ziņas par Latvijas hidroloģijas attīstību (Pastors, 1964a).

Latvijā plašākie pētījumi par iekšzemes ūdeņu ledus režīmu tika izstrādāti 30-ajos un 40-ajos gados P. Stakles (Stakle, 1931; Стакле, 1933; Stakle un Kanaviņš, 1941) un E. Kanaviņa vadībā (Kanaviņš, 1942a; Kanaviņš, 1942b; Kanaviņš, 1943a; Kanaviņš, 1943b), kuri detāli apskatījuši upes aizsalšanas un ledus uzlūšanas procesus. Tāpat P. Stakles vadībā Latvijā (20. – 30. gados) bija izveidots viens no labākajiem hidroloģiskajiem monitoringiem pasaulē (Stakle, 1931).

Savukārt 60-ajos gados ledus un termiskā režīma pētījumiem pievērsusies L. Glazačeva (Глазачева, 1965). L. Glazačeva (Глазачева, 1965) pētījumā izmantoti dati no 163 upju un 27 ezeru novērojumu posteņiem un pētītas 4 ledus režīma fāzes: rudens – ledus parādības un ledstāves izveidošanās, pavasara – ledus segas uzlūšana un ūdens objekta attīrīšanās no ledus. Tāpat aplūkoti dažādu ledus režīma fāžu vidējie rādītāji, kā arī vidējais ledstāves dienu skaits un vidējais dienu skaits, kad upe bijusi brīva no ledus. Visos gadījumos, kad tas bijis iespējams, izvilkti un aplūkoti ekstremālie rādītāji, piemēram, gadi ar lielāko un mazāko ledus segas ilgumu, kā arī gadi, kad ledus sega vispār nav izveidojusies, vai arī tā tikusi vairākkārt pārtraukta. Pētīti arī ledus un termiskā režīma ietekmējošie faktori bijušajā Latvijas PSR.

L. Glazačeva (Глазачева, 1967) veikusi pētījumu arī par Latvijas PSR upju iedalījumu tipos atkarībā no termiskā režīma (pētījumā izmantotas 102 upes ar novērojumu periodu no 1945. – 1962. gadam). Termiskais režīms tiek izdalīts kā viens no hidroloģiskā režīma elementiem. Pateicoties temperatūras novērojumiem, iespējams ne tikai novērtēt meteoroloģisko apstākļu izmaiņas pa sezonām, bet arī izvērtēt ūdens temperatūras ietekmi uz fizikāliem, ķīmiskiem un bioloģiskiem hidroloģiskiem procesiem, tajā skaitā uz ledus apstākļiem (Глазачева, 1967). Tāpat L. Glazačeva (Глазачева, 1967) pētījumā Latvijas upes iedalījusi 3 galvenajos tipos (aukstas upes, kurās ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra jūlijā ir robežās no 12 – 15 °C, vidēji aukstas, kurās temperatūra ir robežās no 18,5 – 20 °C un siltas upes, kurās ūdens temperatūra ir > 20 °C), balstoties uz upju termisko režīmu.

Savukārt, 1980. gadā L. Glazačeva veikusi hidroloģisko rajonu klasifikācija, pēc kuras Latvijas teritorija ir sadalīta četros hidroloģiskajos rajonos: rietumu, centrālajā, ziemeļu un austrumu. Hidroloģisko rajonu iedalījums balstīts uz plašu hidroloģisko datu bāzi, kas satur informāciju par Latvijas un daļēji arī par Lietuvas un Igaunijas upēm, kā arī uz kompleksu upju noteces un upju baseinu fiziogēgrāfisko apstākļu analīzi (Глазачева, 1980).

A. Pastors laikā no 60-ajiem līdz 80-to gadu beigām pētījis ledus sastrēgumu veidošanos Daugavā pie Vaikuļāniem, Jēkabpils un Pļaviņām (Пасторс, 1964b; Пасторс, 1987a), kā arī Lielupē (Пасторс, 1964c). A. Pastors izstrādāja sakarības sastrēgumu vietas un maksimālo ūdens līmeņu paredzēšanai atkarībā no vairākiem faktoriem, piemēram, rudens – ziemas periodā uzkrājušos ledus masu tilpuma, negatīvo gaisa temperatūru summas, caurplūduma u.c. Tāpat 60-ajos gados A. Pastors kopā ar L. Grīnbergu izstrādājis metodikas ledus biezuma prognozēšanai Latvijas lielākajās upēs – Lielupē, Daugavā, Gaujā un Ventā (Пасторс и Гринбергс, 1964). Arī individuāli L. Grīnbergs veicis pētījumus par ledus sastrēgumu veidošanos Daugavā, kā arī par iespējām šos ledus sastrēgumus prognozēt (Гринбергс, 1965). 80. gadu beigās A. Pastors veicis arī Latvijas mazo upju hidroloģisko rajonēšanu, izdalot 17 hidroloģiskos rajonus, galvenokārt par pamatu ņemot ūdens bilances komponentus (nokrišņu, noteces un iztvaikošanas rādītājus), kā arī upju baseina reljefu, upju kritumu, ezerainumu un purvainumu (Пасторс, 1987b).

21. gadsimta sākumā ledus pētījumiem pievērsies arī A. Zīverts, veicot pētījumu par to, kā hidroelektrostacijas (HES) ietekmējušas ledus procesus (galvenokārt ledus sastrēgumu veidošanos) Daugavā un analizē ledus sastrēgumu izmaiņas pirms un pēc Pļaviņu HES būvniecības (Zīverts *et al.*, 2000).

Pēdējos gados pētījumi par ledus režīma un noteces izmaiņām Latvijas lielākajām upēm veikti M. Kļaviņa vadībā (Kļaviņš *et al.*, 2002a; Kļaviņš *et al.*, 2004; Kļaviņš *et al.*, 2006; Kļaviņš *et al.*, 2007; Kļaviņš and Rodinov, 2008; Kļaviņš *et al.*, 2009).

## 2. MATERIĀLI UN METODEDES

### 2.1. Pētījuma dati

Lai raksturotu Latvijas upju hidroloģiskā režīma ilgtermiņa un sezonālās izmaiņas 20. – 21. gadsimtā no Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra datu fondiem iegūti caurplūduma, ūdens temperatūras, ledus režīma, kā arī gaisa temperatūras dati. Caurplūduma dati iegūti arī no VSIA „Meliorprojekts” datu fondiem. Šie indikatori izvēlēti tādēļ, ka šo lielumu novērojumi, kas izdarīti ilgā laika periodā, dod samērā objektīvu novērtējuma iespēju. Analizējot šādu parametru mainības raksturu, ir iespējams ļoti labi novērtēt Latvijas klimata ilgtermiņa un sezonālās izmaiņas, to reģionālās atšķirības.

Noteces režīma analīze veikta par periodu no 1951. – 2009. gadam (1. pielikums). Gaisa temperatūras un ledus režīma izmaiņu analīze veikta laika posmam no 1945. – 2012. gadam, savukārt hidroelektrostaciju (HES) ietekme uz ledus režīmu Daugavā analizēta par periodu no 1919. – 2012. gadam (8. pielikums). Lielākajā daļā hidroloģisko novērojumu staciju (HNS) novērojumi bez pārtraukumiem pieejami sākot ar 1945. gadu. Atsevišķās HNS, kurās novērojumi uzsākti vēlākajos gados vai pārtraukti pirms 2012. gada, datu rinda attiecīgi pieejama par īsāku laika periodu (1. pielikums). Termiskā režīma izmaiņu analīze veikta laika posmam no 1945. – 2000. gadam (1. pielikums).

Ledus režīma analīzē 68 gadu ilga pētījuma periods no 1945. – 2012. gadam ir pietiekami ilgs, turklāt aptver dažādus noteiktos klimata periodus. Pirmkārt, periodu no 1961. – 1990. gadam, kas pēc Pasaules meteoroloģiskās organizācijas (angļu val. *World Meteorological organization*, WMO) rekomendācijas pieņemts kā periods, ko nosacīti var raksturot kā periodu bez būtiskām klimata mainības iezīmēm gan meteoroloģiskajos, gan hidroloģiskajos datos (Šarauskiene and Jurgelēnaitē, 2008; Arguez and Russel, 2011; Jurgelēnaitē *et al.*, 2012; WMO, bez dat.). Kā arī Nacionālās okeāna un atmosfēras administrācijas (angļu val. *National Oceanic and Atmospheric Administration*, NOAA) un Nacionālā klimata datu centra (angļu val. *National Climatic Data Center*, NCDC) noteikto klimata standarta periodu no 1971. – 2000. gadam un kopš 2011. gada arī noteikto periodu no 1981. – 2010. gadam (NOAA's National Climatic Data Center, 2011).

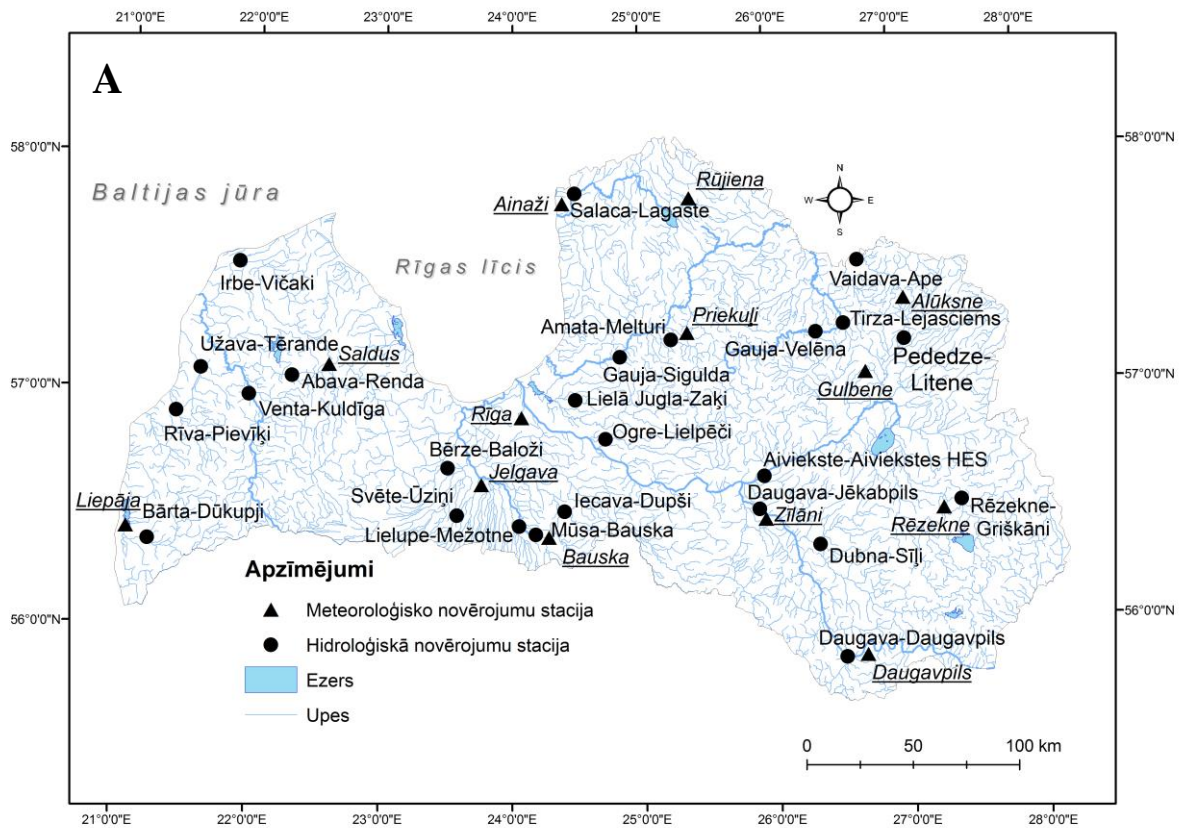
Analizējot noteces režīmu tika izvēlēts pētījuma periods no 1951. – 2009. gadam. Pirmkārt, 37 gadu ilga periods no 1951. – 1987. gadam tiek uzskatīts par periodu „bez būtiskas” klimata pārmaiņu ietekmes uz upju noteci, savukārt 22 gadu ilga periods no 1988. – 2009. gadam tiek uzskatīts par periodu „ar būtiskām” klimata pārmaiņām (Hagen and Feistel, 2005). Otrkārt, sākot ar 1990-ajiem gadiem, daudzas novērojumu stacijas tika slēgtas finansiālu apstākļu dēļ, kā rezultātā bija grūti atlasīt HNS ar ilgtermiņa datu sērijām par visu pētījuma periodu dažādos hidroloģiskajos rajonos.

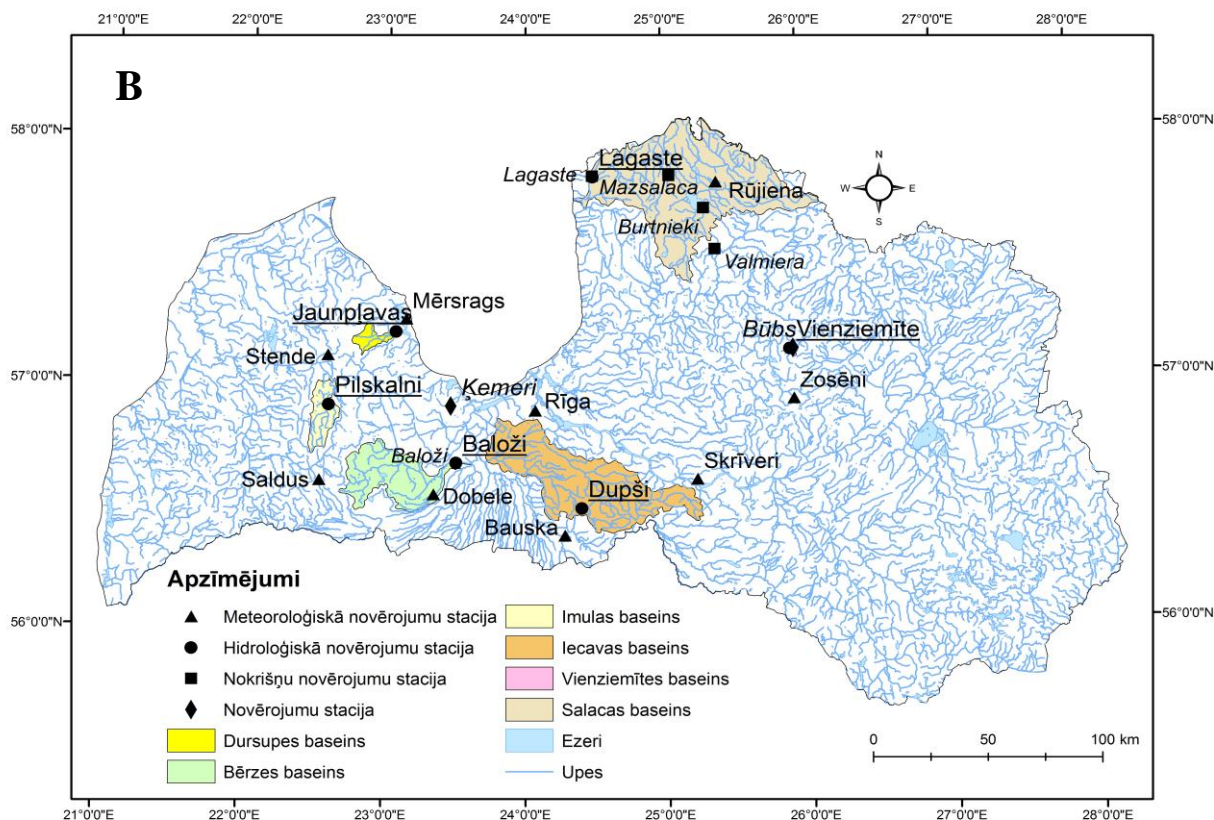
Nākotnes noteces modelēšanai periodā no 2071. – 2100. gadam izmantotas datu sērijas (ikdienas vidējā gaisa temperatūra un ikdienas atmosfēras nokrišņu summa) no valsts pētījumu programmas „Klimata mainības ietekme uz Latvijas ūdeņu vidi” (Seņņikovs and Bethers, 2009). Klimata izmaiņas prognozētas pēc Zviedrijas Rosbi centra (angļu val. *Rosby Centre*) reģionālā atmosfēras-okeāna klimata modeļa (angļu val. *Rosby Centre Atmosphere-Ocean model* (RCAO)), par pamatu ņemot HadAM3H globālo klimata modeli (pilns metodoloģijas apraksts pieejams: Seņņikovs and Bethers (2009)) un izmantojot divus IPCC nākotnes klimata scenārijus A2 un B2. A2 scenāriju saime raksturo neviendabīgu pasauli, kurā iedzīvotāju skaits turpina pieaugt, līdz ar to nosakot aizvien lielāku resursu un enerģijas patēriņu. Ekonomiskā un tehnoloģiskā

attīstība notiek vien atsevišķos reģionos, turklāt tā ir daudz lēnāka, kā citās scenāriju saimēs (Nakicenovic *et al.*, 2000). B2 saimes scenāriju raksturo pasaule, kurā uzsvars tiek likts uz lokāliem risinājumiem gan ekonomiskajā, gan sociālajā, gan arī vides jomā. Ir mērens iedzīvotāju skaita pieaugums un daudz straujāka tehnoloģiju attīstība (Nakicenovic *et al.*, 2000). Salīdzinot ar B2 scenāriju, A2 scenārijs atspoguļo lielākas emisijas (Nakicenovic *et al.*, 2000) un pētījumā A2 scenārijs izvēlēts, lai ilustrētu sliktāko notikumu attīstības iespēju. Meteoroloģisko novērojumu dati par periodu no 1961. – 1990. gadam izmantoti kā kontroles klimatiskie apstākļi, savukārt no 2071. – 2100. gadam periods pieņemts kā nākotnes klimats, atbilstoši IPCC emisijas nākotnes klimata scenārijiem A2 un B2.

Termiskā režīma analīze veikta līdz 2000. gadam, jo pēc 2000. gada lielākajā daļā HNS veikta automatizācija.

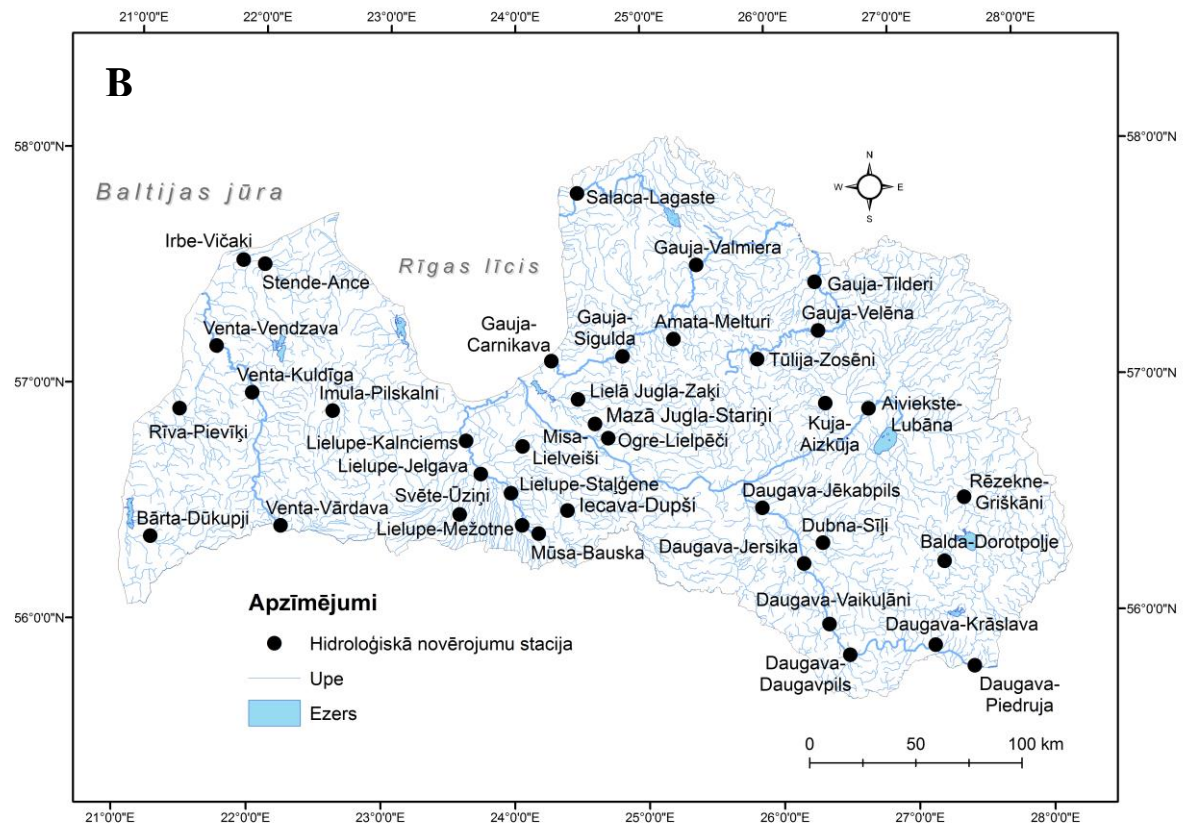
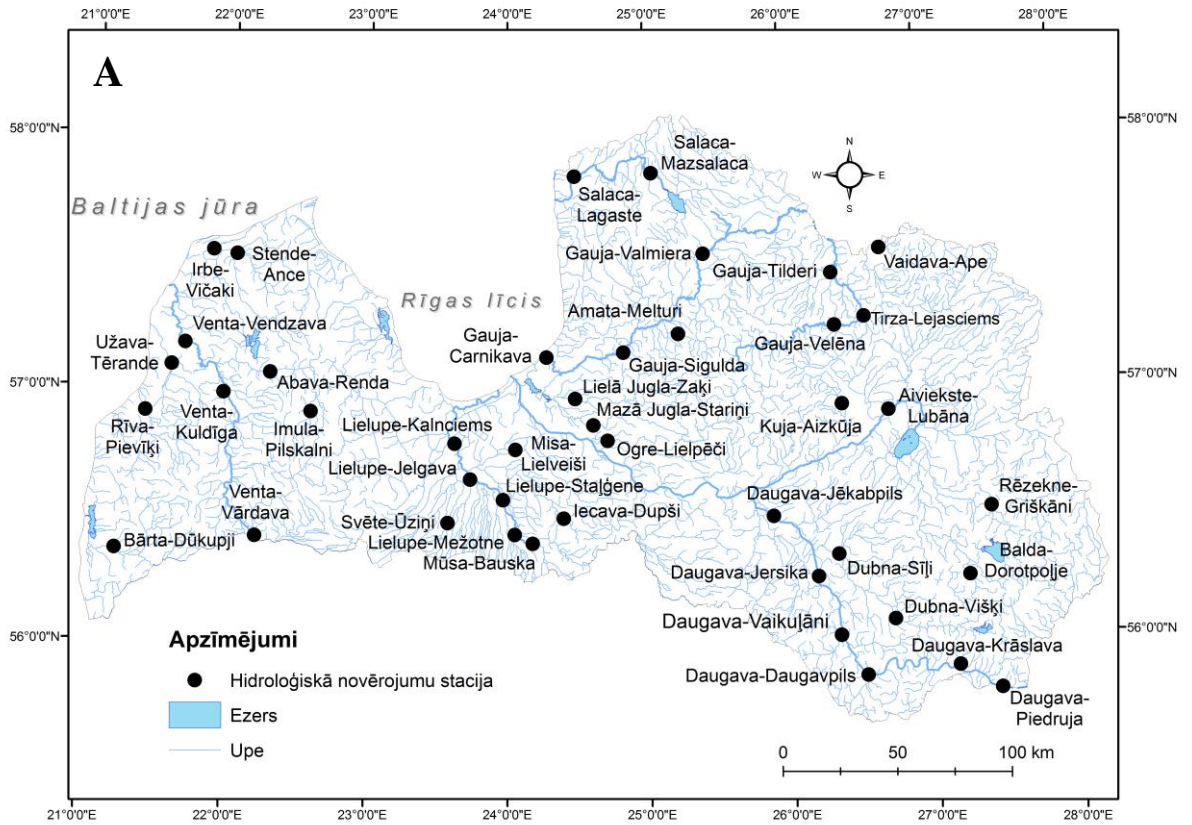
**Caurplūduma datu bāzē** par laika periodu no 1951. – 2009. gadam iegūti ikdienas caurplūduma ( $m^3/s$ ) dati 25 HNS (2.1. att. A). HBV hidroloģiskā modeļa kalibrācijai un validācijai par laika periodu no 1961. – 2000. gadam apkopoti dati par ikdienas caurplūdumu ( $m^3/s$ ) 6 HNS (2.1. att. B).

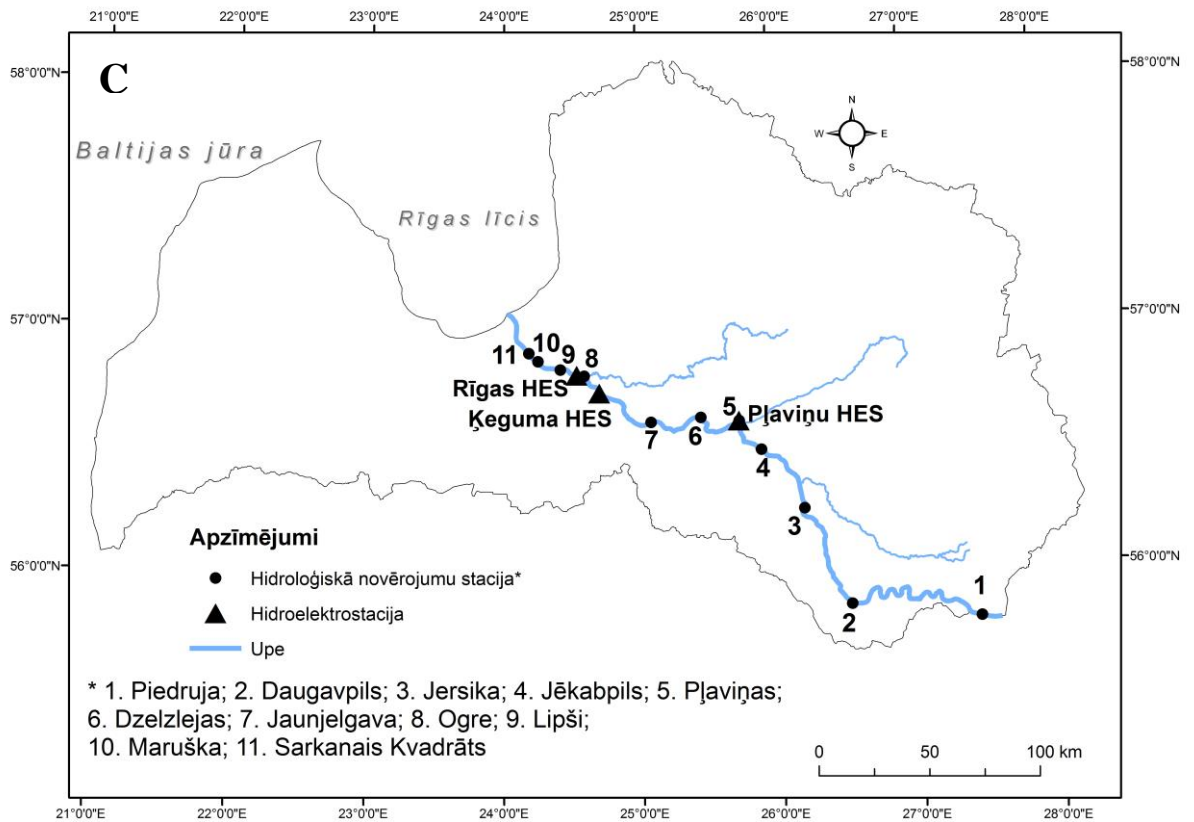




2.1. att. Noteces režīma analīzē izmantotās hidroloģiskās novērojumu stacijas un pētījumā izmantotās meteoroloģiskās novērojumu stacijas (A) un HBV hidroloģiskā modeļa kalibrācijai un validācijai izmantotās novērojumu stacijas un upju baseini (B)

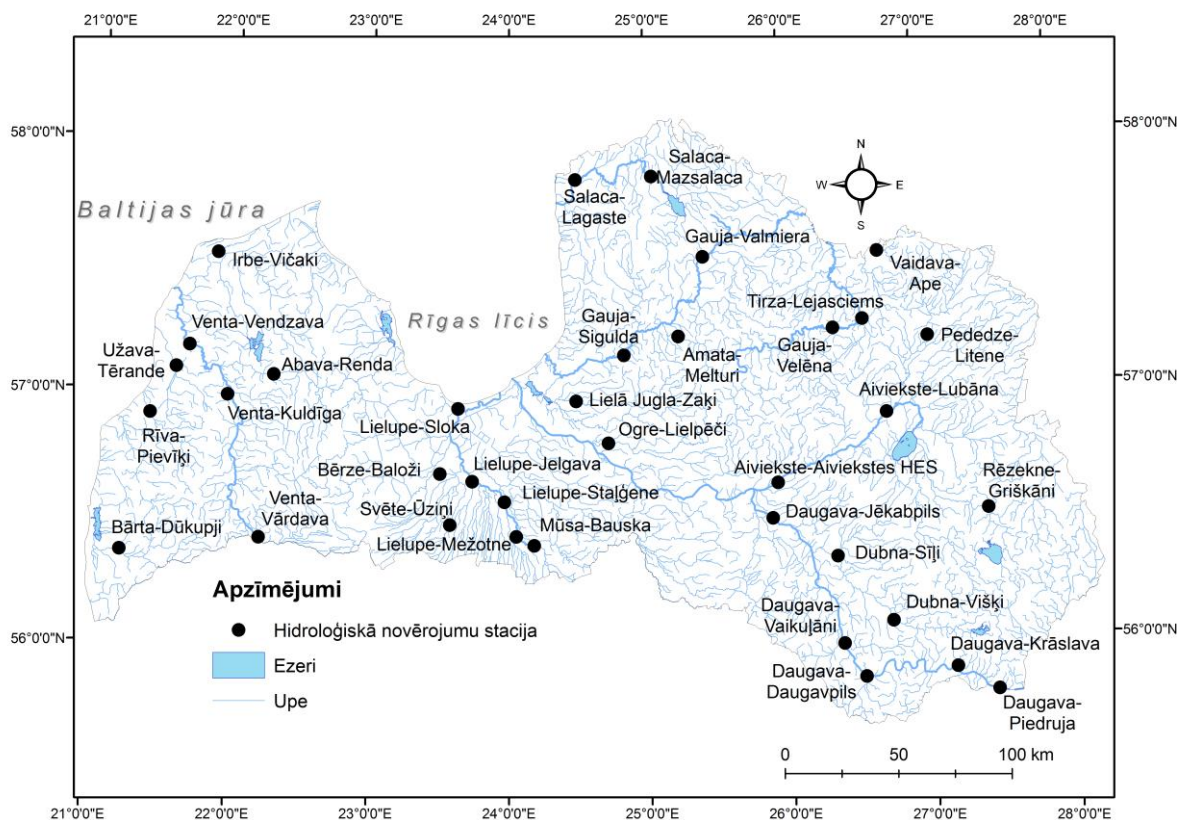
**Ledus režīma datu bāzē** par laika periodu no 1945. – 2012. gadam apkopota informācija par ledus segas izveidošanās un uzlūšanas datumu par 20 HNS, kas atrodas uz lielajām Latvijas upēm un 23 HNS, kas atrodas uz vidējām un mazajām upēm (2.2. att. A). Dati par ledus biezuma mērījumiem (cm) atlasīti par 19 HNS uz lielajām upēm un 19 HNS uz vidējām un mazajām upēm (2.2. att. B). HES ietekmes analīzē Daugavā izmantoti dati par ledus segas izveidošanās un uzlūšanas datumu 11 HNS par periodu no 1919. – 2012. gadam (2.2. att. C). Atsevišķās HNS novērojumi uzsākti vēlāk, vai arī neturpinās līdz 2012. gadam.





2.2. att. Ledus režīma analīzē izmantotās hidroloģiskās novērojumu stacijas: ledus izveidošanās un uzlūšana (A), ledus biezums (B), Daugavas ledus fenoloģija (C)

**Termiskā režīma datu bāzē** par laika periodu no 1945. – 2000. gadam apkopotas Latvijas upju ūdens virsējā slāņa dekādes vidējās ūdens temperatūras (°C) siltajā sezonā (no maija līdz oktobrim) un gada maksimālās ūdens virsējā slāņa temperatūras (°C) par 19 HNS, kas atrodas uz Latvijas lielākajām upēm un 17 HNS, kas atrodas uz mazākajām Latvijas upēm (2.3. att.).



2.3. att. Termiskā režīma analīzē izmantotās hidroloģiskās novērojumu stacijas

**Meteoroloģiskā datu bāze** veidota par laika periodu no 1945. – 2012. gadam, apkopojot informāciju par ikdienas vidējo gaisa temperatūru ( $^{\circ}\text{C}$ ) 13 meteoroloģisko novērojumu stacijās (MNS) (2.1. att. A). HBV hidroloģiskā modeļa kalibrācijai un validācijai par laika periodu no 1961. – 2000. gadam apkopoti dati par ikdienas vidējo gaisa temperatūru ( $^{\circ}\text{C}$ ) un ikdienas atmosfēras nokrišņu summu (mm) 9 MNS un ikdienas atmosfēras nokrišņu summu (mm) 5 HNS, kurās tiek veikti atmosfēras nokrišņu daudzuma mērījumi un ilgtermiņa mēneša vidējās iztvaikošans vērtības (mm) 2 novērojuma stacijās (Ķemeru purva stacija un Baltijas ūdens bilances stacija (Būbs)) (2.1. att. B).

Noteces, ledus un termiskā režīma analīzē HNS izvēlētas ar pēc iespējas garāku novērojuma periodu un atrašanās vietas dažādos hidroloģiskajos rajonos. Ledus režīma analīzē atlasītas tās HNS, kuras neatrodas tiešā HES tuvumā, izņemot atsevišķas tās HNS, kuras izmantotas 3.3.7. nodaļā par HES ietekmi uz ledus izveidošanos un uzlūšanu Daugavā. MNS izvēlētas, lai tiktu aptverta visa Latvijas teritorija. Upju noteces hidroloģiskai modelēšanai mūsdienu un nākotnes klimata apstākļos izvēlēti 6 baseini – Bērze, Iecava, Imula, Dursupe, Vienziemīte un Salaca (2.1. att. B). Upju baseinu izvēle saistīta ar to atrašanos dažādos Latvijas hidroloģiskajos rajonos, kā arī upju baseinu platība un atšķirīgie fizģeogrāfiskie apstākļi, kā arī atšķirīgais cilvēka saimnieciskās darbības ietekmes lielums un hidroloģisko un meteoroloģisko staciju izvietojums. Upju baseinu raksturlielumi pievienoti 2. pielikumā.

## 2.2. Pētījuma datu apstrādes metodes

Veidojot datu bāzi par ledus režīmu, par ledus segas parādīšanās datumu pieņemts pirmās ilgstošās (20 dienas un ilgāk) ledus segas sākuma datums. Īsāks ledus periods, kurš ir novērots pirms stabilās ledus segas iestāšanās, ir ņemts vērā, ja tā ilgums ir bijis lielāks par sekojošo bezledus periodu. Ja ilgstoša ledus sega 1 – 3 reizes tiek pārtraukta ar bezledus periodu vai ledus iešanu, kas ilgst tikai pāris diennaktis (ievērojami īsāku laiku par pašu ledus segu), tad šie pārtraukumi netiek ņemti vērā.

Par ledus segas beigu datumu pieņemts datums, kad parādās pa ledus virsu tekošs ūdens, izskalojumi, piekrastes vaļumjosla, ledus vai vižņu iešana.

Ledus segas ilgums un visu ledus parādību ilgums tiek aprēķināts pēc ledus segas iestāšanās un vienas dienas pēc tās izbeigšanās summāro dienu skaita. Ledus segas ilgumā ir ietvertas dienas ar ledus sakustēšanos, vaļumiem un ūdeni uz ledus.

Ledus segas izveidošanās un uzlūšanas datumi ir pārveidoti skaitliskā formā, t.i., diena no 1. oktobra (1. oktobris = 1 diena, 15. decembris = 76 diena no 1. oktobra u.tml.), radot iespēju vienkāršāk operēt ar datiem. Lai analizētu ilgtermiņa trendus, tad gados, kad ledus sega netika novērota, par ledus segas izveidošanās datumu pieņemts 10. marts (160 diena no 1. oktobra), bet par ledus segas uzlūšanu 10. decembris (70 diena no 1. oktobra). Tās ir vērtības, kas ir nedaudz augstākas/zemākas, kā reālās novērotās ekstrēmās vērtības katrā novērojumu stacijā.

Ledus biezums (centimetros) tiek mērīts upes vidū mēneša 5., 10., 15., 20., 25. un mēneša pēdējā datumā. Ja mērījums ir veikts laika posmā starp diviem termiņiem, tad ledus biezums tiek atzīmēts uz vienu no šiem datumiem, īpaši nenorādot šo nobīdi. Pēc tam aprēķināts ziemas sezonas vidējais un maksimālais ledus biezums.

Veidojot datu bāzi par termisko režīmu, apkopota katra mēneša dekādes vidējā virsējā slāņa ūdens temperatūra. Dekādes vidējā temperatūra aprēķināta, kā vidējais aritmētiskais no mērījumiem, kas veikti divas reizes dienā (plkst. 8.00 un 20.00) ne mazāk kā 8 diennaktīs dekādē. Ūdens temperatūras mērīšanas dziļums 0,1 – 0,5 m.

Hidroloģisko un meteoroloģisko datu digitalizācijā izmantota MS Excel datorprogramma.

Lai interpretētu iegūtos upju ūdens noteces rezultātus, izmantota L. Glazačeva 1980. gadā veiktā hidroloģisko rajonu klasifikācija, pēc kuras Latvijas teritorija ir sadalīta četros hidroloģiskajos rajonos: rietumu – Ventas baseins un mazās upes gar Baltijas jūras piekrasti; centrālais – Lielupes baseins un mazās upes Latvijas centrālajā daļā; ziemeļu – Salacas un Gaujas baseini un mazās upes gar Rīgas līča piekrasti; austrumu – Daugavas baseina mazās un vidējās upes (Глазачева, 1980). Hidroloģisko rajonu iedalījums balstīts, pirmkārt, uz plašu hidroloģisko datu bāzi, kas satur informāciju par Latvijas un daļēji arī par Lietuvas un Igaunijas upēm, un otrkārt, uz kompleksu upju noteces un upju baseinu fiziogēogrāfisko apstākļu analīzi (Глазачева, 1980).

## 2.3. Pētījuma datu analīzes metodes

Datu analīzē izmantotas statistiskās datu apstrādes metodes (korelācijas analīze, vienfaktora lineārā regresija u.c.), kā arī tādi statistikas pamatlīmeņi, kā vidējais aritmētiskais, maksimālās un minimālās vērtības, standartnovirze, regresijas vienādojumi (parāda izmaiņu intensitāti), regresijas taisnes virziena koeficients.

Mann-Kendall tests izmantots, lai novērtētu, vai pastāv trends izmaiņām visiem meteoroloģiskajiem un upju hidroloģiskā režīma raksturojošajiem parametriem. Mann-

Kendall tests ir īpaši izstrādāts klimatisko parametru mainības tendenču (trendu) izpētei. Mann-Kendall tests ļauj analizēt arī datu rindas, ja tajās ir iztrūkstošas vērtības, kā arī datu rindas ar netipiskām (ļoti zemām vai augstām) vērtībām. Mann-Kendall testa pamatā ir tā sauktais rangu jeb pāru princips, pēc kura salīdzina divas novērojumu vērtības. Mann-Kendall testu var izmantot datu rindām, kam ir sezonāls raksturs, jo tas ļauj aprēķināt testa vērtības katram mēnesim atsevišķi. Pētāmā parametra mainības tendences ir statistiski būtiskas ( $p < 0,05$ ), ja testa vērtība ir lielāka par 1,96 vai mazāka par - 1,96 (Hirsch and Slack, 1984; Libiseller and Grimvall, 2002). Tātad, Mann-Kendall tests ļauj noteikt ne tikai to, vai rādītāja mainības raksturs ir pieaugošs vai pazemināts, bet arī ļauj novērtēt mainības procesa statistisko ticamību.

Statistiskā programma SPSS 19 (IBM SPSS software, 2015) izmantota Pīrsona korelācijas aprēķināšanā, lai noteiktu sakarību starp gada negatīvo gaisa temperatūru summu un ziemas bardzības indeksu, kā arī katra konkrētā gada ledus parametriem (ledus segas izveidošanās/uzlūšanas datumu, ledstāves ilgumu, ledus biezumu) un starp gada vidējo gaisa temperatūru un gada vidējo un maksimālo ūdens temperatūru.

Lai aprēķinātu ledus režīma izmaiņas (pieauguma vai samazinājuma) ātrumu, veikta lineārās regresijas analīze starp ikgadējo ledus segas izveidošanās/uzlūšanas datumu, ledstāves ilgumu, ledus segas biezumu un laiku (gads) programmā R versija 2.14.1 (R Development Core Team, 2011). Balstoties uz regresijas vienādojuma slīpuma koeficientu aprēķināts izmaiņu apjoms 10 gadu periodā (slīpuma koeficients reizināts ar 10).

Daugavas ledus fenoloģijas analīzē, lai salīdzinātu izmaiņas pirms un pēc hidroelektrostaciju būvniecības, programmā R versija 2.14.1. (R Development Core Team, 2011) izmantots T-tests ar būtiskuma līmeni  $p < 0,05$  (Sokal and Rohlf, 1995) vidējam ledus segas izveidošanās/uzlūšanas datumam, kā arī ledstāves ilgumam.

Hidroloģiskajā modelēšanā pielietots HBV (zviedru val. *Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning*) konceptuālais lietuv-noteces modelis, kas izstrādāts Zviedrijas Hidrometeoroloģijas institūtā profesora S. Bergstroma vadībā 1970-ajos gados. HBV modeļa galvenā īpatnība ir tā, ka noteces veidošanās procesi modelī atspoguļoti maksimāli vienkārši, taču tajā pašā laikā pietiekami precīzi (IHMS, 2008). Modelī hidroloģiskie procesi tiek atspoguļoti, kā skaitliski vienādojumi. Galvenie modeļa ieejas dati ir diennakts vidējā gaisa temperatūra ( $^{\circ}\text{C}$ ), diennakts atmosfēras nokrišņu summa (mm), kā arī ilggadīgi vidējās mēnešu iztvaikošanas vērtības (mm). Atmosfēras nokrišņu summa ir nozīmīgākais modelēšanas elements, kas, balstoties uz ūdens bilances vienādojumu, veido upes noteci (Bergström, 1992; IHMS, 2008). Diennakts vidējās gaisa temperatūra modelī tiek izmantota galvenokārt sniega segas uzkrāšanas aprēķinos, kā arī, kopā ar mēneša vidējās potenciālās iztvaikošanas vērtībām, raksturo iztvaikošanas procesu (Bergström, 1992; Arheimer and Fogelberg, 2004; IHMS, 2008). Lai noteiktu matemātiski pamatotu katras MNS būtiskumu konkrētā upes baseinā, izmantota Tiezena poligonu metode. Stacijas būtiskuma areāla aprēķināšanā, pielietojot Tiezena poligonu metodi, izmantota ArcMap-ArcInfo 9.3 versija. Datu apstrādei galvenokārt izmantota komanda *Analysis Tools* un opcijas *Proximity*, *Extract*.

ArcMap-ArcInfo 9.3 versija izmantota arī upju baseinu zemes lietojuma veidu (mežu platības, ezeri, pārējās platības) platību aprēķināšanai, par pamatu ņemot CORINE Land Cover 2000 zemes apauguma datubāzi. Papildus katram zemes lietojuma veidam (mežiem, ezeriem, pārējām platībām) nepieciešams vidējais augstums virs jūras līmeņa. Augstumu aprēķināšanai izmantots CIGAR SRTM V4.1 reljefa modelis (Jarvis *et al.*, 2008).

Pielietojot viendabīguma testu, tika noteikts, vai pētījuma datus ir iztrūkumi. Homogenitātes analīze veikta atmosfēras nokrišņu diennakts summām, jo šie ir svarīgākie modeļa ieejas dati, jo nokrišņu daudzumu, kas izkrīt kādā konkrētā vietā, nosaka daudzi lokāli faktori un tikai ilgtermiņa novērojumu analīze ļauj izdarīt secinājumus par datu rindas viendabīgumu. Kopējais nokrišņu daudzums izmantotajās stacijās ir viendabīgs, ja nokrišņu summas līkne ir lineāra (IHMS, 2008).

HBV modeļa kalibrācijai pētāmajos upju baseinos izmantots periods no 1961. – 1990. gadam, savukārt validācijai periods no 1991. – 2000. gadam. Šajā periodā ir vairāki slapjie (1962., 1978., 1980., 1981. un 1990. gads) un arī sausie gadi (1964., 1969. un 1976. gads), kas ļauj labāk pielāgot modeļa parametrus, tādējādi uzlabojot noteces simulāciju nākotnes klimata apstākļos. Modeļa kalibrācija pētāmajiem upju baseiniem veikta manuāli, nosakot modeļa parametru vērtības. Kalibrācijas procesā parametri tiek pielāgoti noteiktā kārtībā, sākot ar apjoma parametriem (angļu val. *volume parameters*), sniega parametriem (angļu val. *snow parameters*), augsnes parametriem (angļu val. *soil parameters*), atbildes procesa parametriem (angļu val. *response parameters*) un transformācijas parametriem (angļu val. *damping parameters*). Kalibrācijas rezultātu novērtēšanai izmanto trīs veidus:

- Vizuāli aplūkojot un salīdzinot ar modeli aprēķināto un novēroto hidrogrāfu;
- Novērtējot akumulēto starpību (*Accdiff*) starp aprēķināto un novēroto caurplūdumu, ko izsaka vienādojums (1):

$$\text{Accdiff} = \sum (\mathbf{Q}_C - \mathbf{Q}_R) \cdot C_t, \text{ kur} \quad (1)$$

$\mathbf{Q}_C$  – aprēķinātais caurplūdums,

$\mathbf{Q}_R$  – novērotais caurplūdums,

$C$  – koeficients, kas transformē mm par visu baseinu,

$t$  – laiks;

- Novērtējot statistisko kritēriju  $R^2$  (angļu val. *Nach-Sutcliffe efficiency*), ko izsaka ar formulu (2):

$$R^2 = \frac{\sum (\mathbf{Q}_R - \mathbf{Q}_{R\text{mean}})^2 - \sum (\mathbf{Q}_C - \mathbf{Q}_R)^2}{\sum (\mathbf{Q}_R - \mathbf{Q}_{R\text{mean}})^2}, \text{ kur} \quad (2)$$

$\mathbf{Q}_{R\text{mean}}$  – vidējais novērotais caurplūdums kalibrācijas periodā (IHMS, 2008).

Statistiskais kritērijs  $R^2$  variē robežās no  $-\infty$  līdz 1 (Bergström, 1992). Ideālā gadījumā (novērotie un modelētie rādītāji pilnībā sakrīt) statistiskais kritērijs  $R^2$  ir 1, taču reāli statistisko kritēriju  $R^2$  ir iespējams iegūt robežās no 0,8 – 0,95, kas arī ir tādos gadījumos, kad ir pietiekami augsta novēroto datu kvalitāte (Bergström, 1992; IHMS, 2008).

Lai salīdzinātu vidējā un maksimālā caurplūduma gada vidējās, sezonālās un mēneša vērtības, kā arī gaisa temperatūras, atmosfēras nokrišņu un iztvaikošanas gada un sezonālās vērtības kontroles periodam un nākotnes klimata scenārijiem, izmantots T-tests ar būtiskuma līmeni  $p < 0,05$  (Sokal and Rohlf, 1995). 95 % ticamības intervāls hidrometeoroloģisko datu vidējiem aritmētiskajiem aprēķināts programmā R versija 2.14.1 (R Development Core Team, 2011).

Strukturālās jeb sezonālās noteces izmaiņas aprēķinātas procentpunktos, kas iegūti kā procentuālās atšķirības starp 1988. – 2009. gada perioda noteci un 1951. – 1987. gada perioda noteci. Pētījuma periodam no 1951. – 1987. gadam un periodam no 1988. – 2009. gadam, salīdzinot mēneša vidējās un sezonālās caurplūduma vērtības, pielietots T-tests ar būtiskuma līmeni  $p < 0,05$  (Sokal and Rohlf, 1995), kā arī aprēķināts 95 % ticamības intervāls caurplūduma datu vidējiem aritmētiskajiem.

Lai noteiktu noteces režīma ilgtermiņa izmaiņas, periodam no 1951. – 2009. gadam analizēti mazūdens un daudzūdens perioda ikdienas caurplūduma dati. Divi mazūdens periodi (ziemas un vasaras) noteikti pēc 30 dienu minimālajiem caurplūdumiem aukstajā sezonā ( $Q_{30ziema}$ , novembris – februāris) un siltajā sezonā ( $Q_{30vasara}$ , maijs – oktobris). Daudzūdens periods raksturojas ar gada maksimālo caurplūdumu ( $Q_{max}$ ), kas galvenokārt tiek novērots pavasara plūdu periodā (martā – aprīlī). Lai noteiktu noteces izmaiņas, tika aprēķinātas sakarības starp katra gada ziemas vai vasaras 30 dienu minimālo caurplūdumu un ilggadīgi vidējo gada caurplūdumu ( $Q_{ilg.vid}$ ) ( $Q_{30ziema}/Q_{ilg.vid}$ ;  $Q_{30vasara}/Q_{ilg.vid}$ ), kā arī sakarība starp gada maksimālo un ilggadīgi vidējo gada caurplūdumu ( $Q_{max}/Q_{ilg.vid}$ ). Gada vidējās, vasaras un ziemas 30 dienu minimālās caurplūduma vērtības no ikdienas caurplūdumu datu rindām aprēķinātas pēc Pīrsona III varbūtību sadalījuma, izmantojot statistisko datu apstrādes programmu „Statpir3” (Zīverts un Strūbergs, 2000).

Klimata izmaiņu novērtēšanai, aprēķināts ziemas bardzības indekss (Sztobryn *et al.*, 2009). Ziemas bardzības indeksa ( $S$ ) aprēķināšanā izmantots katras ziemas sezonas ledstāves ilgums un ledus rašanās varbūtība, ko izsaka vienādojums (3):

$$S = 0,05 \cdot N/p, \text{ kur} \quad (3)$$

$N$  – ledstāves ilgums dienās,  
 $p$  – ledus rašanās varbūtība;

Ledus rašanās varbūtību ( $p$ ) aprēķina gadu skaitu ar ledu dalot ar kopējo gadu skaitu novērojuma periodā, ko izsaka vienādojums (4):

$$p = G_i / G_{Sum}, \text{ kur} \quad (4)$$

$G_i$  – gadu skaits ar ledu segu,  
 $G_{Sum}$  – kopējais gadu skaits.

Periodā no 1945. – 2012. gadam ziemas iedalītas trīs tipos: barga ziema (indeksa vērtība  $> 5,5$ ), mērena ziema (indekss  $> 4,0$  un  $< 5,5$ ) un silta ziema (indeksa vērtība  $< 4,0$ ), izdalot 100 % ar 3 un iegūstot 33 % ziemas bardzības ietekmes koeficientu (Sztobryn *et al.*, 2009).

Kartogrāfiskā materiāla izstrādē izmantota datorprogrammatūra ArcView 9.3.1 un datu bāze GIS Latvija 10.2.

### 3. REZULTĀTI

#### 3.1. Upju ūdens noteces režīma izmaiņas

##### 3.1.1. Gada kopējā upju notece

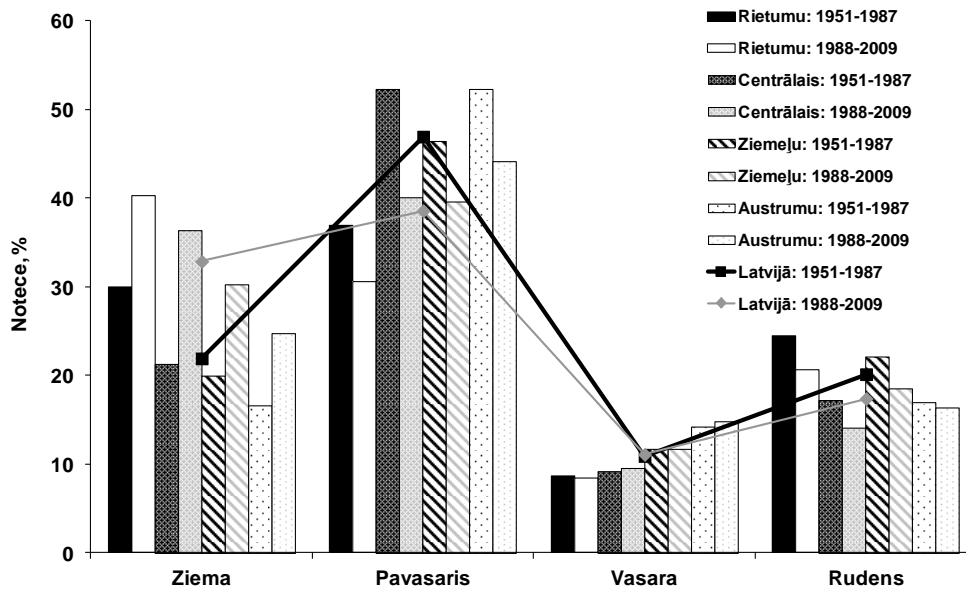
Pētījumā analizēta gada kopējā un vidējā upju notece, kā arī mazūdens un daudzūdens perioda notece pēc gadsimtu mijas četros hidroloģiskajos rajonos, kas atšķiras gan pēc lieluma, gan fiziogēogrāfiskajiem apstākļiem.

Pēc iegūtajiem rezultātiem, periodā no 1951. – 1987. gadam upēs no gada kopējās noteces lielākais noteces apjoms veidojās pavasara sezonā (37 – 52 %) ar lielāko caurplūdumu līdz 30 % aprīlī, kam seko ziemas notece (17 – 30 %), rudens (17 – 25 %) un vasaras notece (9 – 14 %) attiecīgi ar mazāko caurplūdumu 2 – 4 % jūlijā un augustā (3.1. tab., 3.1., 3.2. att.).

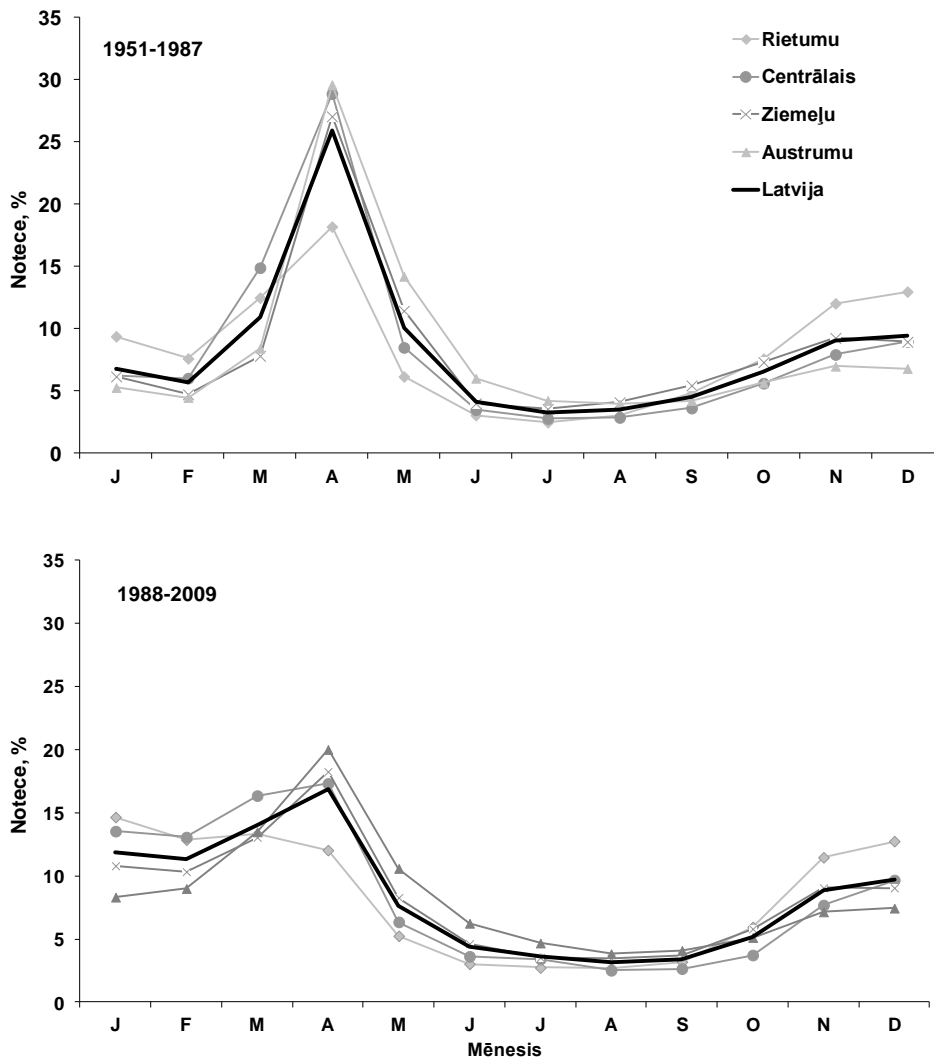
3.1. tabula

Gada kopējās noteces sadalījums pa mēnešiem procentos

Hidroloģiskais rajons	Mēnesis											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jūn	Jūl	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
<b>1951–2009</b>												
<i>Rietumu</i>	11,7	9,8	12,8	15,6	5,8	3,0	2,6	2,9	4,1	6,9	11,8	12,9
<i>Centrālais</i>	9,1	8,9	15,5	24,5	7,8	3,5	2,9	2,7	3,2	4,8	7,7	9,3
<i>Ziemeļu</i>	8,0	6,9	9,9	23,8	10,3	4,3	3,5	3,8	4,7	6,7	9,2	9,0
<i>Austrumu</i>	6,5	6,3	10,5	25,7	12,7	6,1	4,4	3,9	4,2	5,4	7,1	7,1
<i>Kopā Latvijā</i>	8,8	8,0	12,2	22,4	9,1	4,2	3,4	3,3	4,0	6,0	8,9	9,5
<b>1951–1987</b>												
<i>Rietumu</i>	9,4	7,6	12,5	18,2	6,2	3,1	2,5	3,1	4,8	7,6	12,0	13,0
<i>Centrālais</i>	6,2	6,0	14,9	28,9	8,5	3,5	2,8	2,9	3,6	5,6	7,9	9,0
<i>Ziemeļu</i>	6,2	4,7	7,8	27,1	11,5	4,0	3,6	4,1	5,5	7,3	9,3	9,0
<i>Austrumu</i>	5,3	4,5	8,4	29,6	14,2	6,0	4,2	3,9	4,2	5,7	7,0	6,8
<i>Kopā Latvijā</i>	6,8	5,7	10,9	25,9	10,1	4,2	3,3	3,5	4,5	6,6	9,1	9,4
<b>1988–2009</b>												
<i>Rietumu</i>	14,7	12,9	13,3	12,0	5,3	3,0	2,7	2,7	3,2	6,0	11,5	12,8
<i>Centrālais</i>	13,5	13,1	16,4	17,3	6,4	3,6	3,4	2,5	2,7	3,7	7,7	9,7
<i>Ziemeļu</i>	10,8	10,3	13,1	18,3	8,3	4,6	3,5	3,5	3,7	5,8	9,1	9,1
<i>Austrumu</i>	8,3	9,0	13,5	20,0	10,6	6,2	4,7	3,8	4,1	5,1	7,1	7,4
<i>Kopā Latvijā</i>	11,8	11,3	14,1	16,9	7,6	4,4	3,6	3,1	3,4	5,2	8,8	9,7



3.1. att. Gada kopējās upju noteces sadalījums procentos pa sezonām un hidroloģiskajiem rajoniem pētījuma periodā no 1951. – 1987. gadam un periodā no 1988. – 2009. gadam



3.2. att. Upju hidrogrāfi procentos Latvijā kopumā un pa hidroloģiskajiem rajoniem

Apstiprinās arī viena no izvirzītajām hipotēzēm, ka klimata pārmaiņas ietekmē Latvijas upju hidroloģisko režīmu, jo globālās klimata pārmaiņas pēdējos gadu desmitos ir noteikušas arī ilgtermiņa un strukturālās jeb sezonālās izmaiņas Latvijas upju notecē, novērojot būtiskas izmaiņas upju hidrogrāfos tieši ziemas un pavasara sezonās. Salīdzinot ar pētījuma periodu no 1951. – 1987. gadam, redzams, ka laikā no 1988. – 2009. gadam statistiski nozīmīgs pieaugums vidēji par 11 procentpunktiem vērojams noteces apjomā ziemā un samazināšanās vidēji par 8 procentpunktiem pavasarī (3.2. tab.). Pavisam neliels vidēji par 3 procentpunktiem samazinājums novērojams rudenī, savukārt nebūtiskas izmaiņas saistāmas ar vasaru. Kaut arī notece ievērojami ir palielinājusies janvārī un februārī un samazinājusies aprīlī un maijā (3.3. tab.), lielākā daļa no kopējās gada noteces joprojām veidojas pavasara sezonā (vidēji 39 %) un lielākais caurplūduma pīķis tiek saglabāts aprīlī (vidēji 17 %) (3.1. tab., 3.3. att.).

3.2. tabula

**Gada kopējās noteces izmaiņas pa sezonām procentpunktos starp 1988. – 2009. gada un 1951. – 1987. gada periodu**

Hidroloģiskais rajons	Ziema	Pavasaris	Vasara	Rudens
<i>Rietumu</i>	<b>10,0</b>	<b>-6,7</b>	0,3	-3,6
<i>Centrālais</i>	<b>15,0</b>	<b>-12,9</b>	0,8	-2,9
<i>Ziemeļu</i>	<b>11,0</b>	<b>-7,0</b>	-0,2	-3,8
<i>Austrumu</i>	<b>8,1</b>	<b>-7,5</b>	0,5	-1,1
<i>Kopā Latvijā</i>	<b>11,0</b>	<b>-8,5</b>	0,4	-2,8

*treknrakstā – statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$*

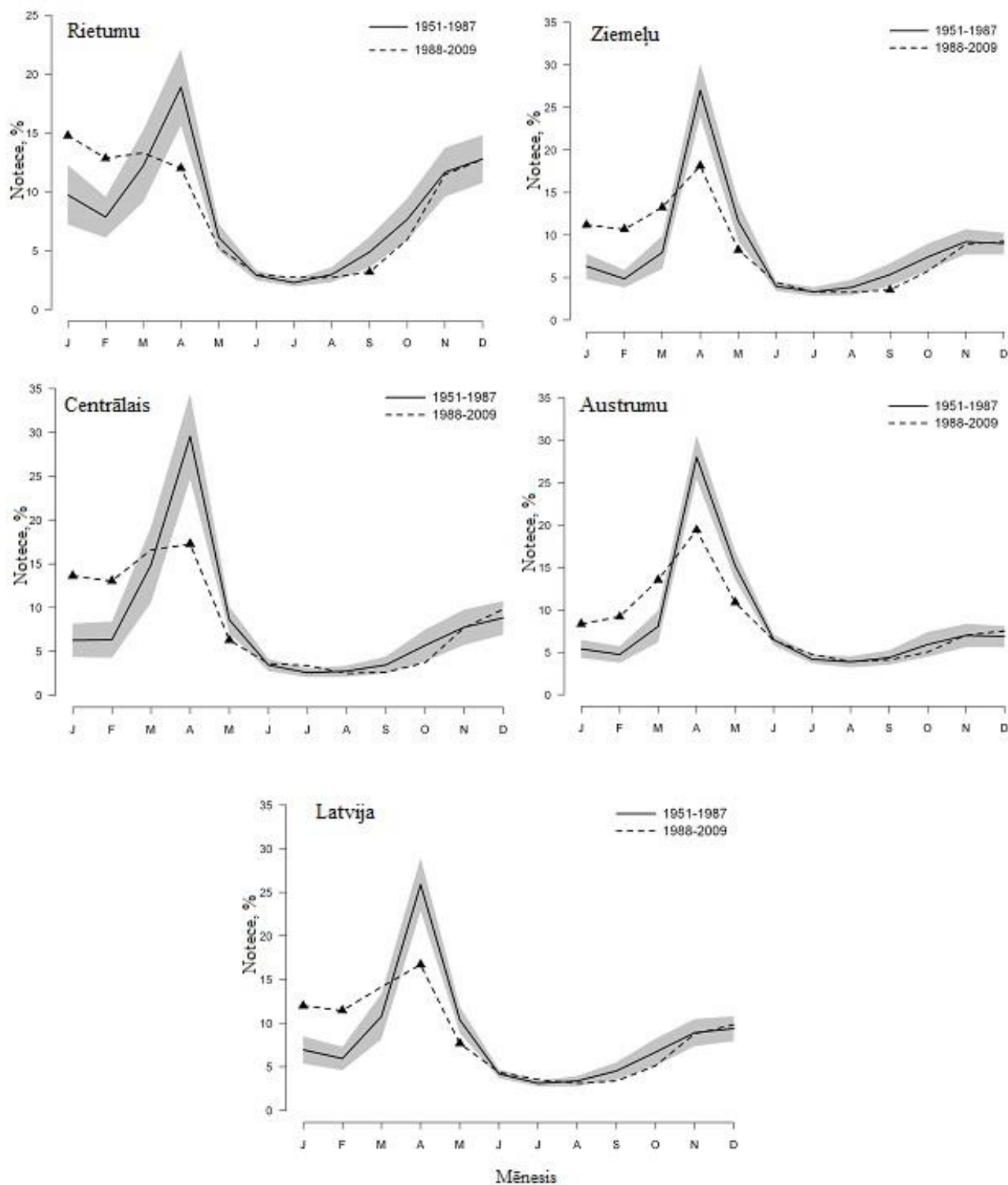
3.3. tabula

**Gada kopējās noteces izmaiņas pa mēnešiem procentpunktos starp 1988. – 2009. gada un 1951. – 1987. gada periodu**

Hidroloģiskais rajons	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jūn	Jūl	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
<i>Rietumu</i>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	1,1	<b>-6,9</b>	-0,9	0,1	0,5	-0,3	<b>-1,7</b>	-1,7	-0,2	0,0
<i>Centrālais</i>	<b>7,4</b>	<b>6,7</b>	1,7	<b>-12,3</b>	<b>-2,3</b>	0,2	0,8	-0,3	-0,8	-2,0	-0,1	1,0
<i>Ziemeļu</i>	<b>4,9</b>	<b>5,8</b>	<b>5,3</b>	<b>-8,9</b>	<b>-3,4</b>	0,5	-0,1	-0,6	<b>-1,8</b>	-1,7	-0,3	0,2
<i>Austrumu</i>	<b>3,0</b>	<b>4,5</b>	<b>5,5</b>	<b>-8,6</b>	<b>-4,3</b>	-0,1	0,6	0,0	-0,3	-0,9	0,0	0,6
<i>Kopā Latvijā</i>	<b>5,1</b>	<b>5,5</b>	3,4	<b>-9,2</b>	<b>-2,7</b>	0,2	0,4	-0,3	-1,2	-1,6	-0,1	0,5

*treknrakstā – statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$*

Pēc gadsimtu mijas visos hidroloģiskajos rajonos konstatētas izmaiņas sezonas un mēneša notecēs (3.3. att.).



**3.3. att. Upju hidrogrāfu izmaiņas, salīdzinot periodu no 1951. – 1987. gadam un periodu no 1988. – 2009. gadam. Pelēkā zona attēlo 95 % ticamības intervālu vidējam caurplūdamam periodā no 1951. – 1987. gadam. Melnie trīsstūri attēlo statistiski būtiskas izmaiņas mēneša vidējam caurplūdamam periodā no 1988. – 2009. gadam**

Lielākās izmaiņas saistītas ar centrālo hidroloģisko rajonu, kur upju notece ziemā, jo īpaši janvārī un februārī, palielinājusies par 15 procentpunktiem, bet, ievērojami par 13 procentpunktiem samazinājusies pavasarī, jo īpaši aprīlī un maijā (3.2., 3.3. tab.). Pēdējo divu desmitgažu laikā upju hidrogrāfos nav novērojams ziemas mazūdens periods un pavasara plūdi sākas agrāk (3.2., 3.3. att.). Līdzīgi hidro-klimatiskie apstākļi bija novērojami rietumu hidroloģiskajā rajonā periodā no 1951. – 1987. gadam, kas vērtējams kā periods bez būtiskām klimata pārmaiņām. Arī ziemeļu un austrumu hidroloģiskajos rajonos tiek novērotas siltākas ziemas, bet gada kopējā upju noteces sadalījumā izmaiņas ir vairāk pakāpeniskākas. Statistiski ticams noteces pieaugums janvārī – martā vidēji par 3 – 5,5 procentpunktiem un statistiski ticams samazinājums aprīlī – maijā vidēji par 3 – 9 procentpunktiem novērojams abos hidroloģiskajos rajonos (3.3. tab.).

Analizējot rezultātus pa mēnešiem, nebūtiskas izmaiņas vērojamas no jūnija līdz augustam un no oktobra līdz decembrim visos hidroloģiskajos rajonos. Rudens sezonā vērojama noteces samazināšanās, bet ievērojamākā samazināšanās vidēji par 2 procentpunktiem septembra mēnesī vērojama rietumu un ziemeļu hidroloģiskajā rajonā (3.3. tab.).

Līdzīgi rezultāti iegūti arī par sezonālajām upju noteces izmaiņām, analizējot visu pētījuma periodu no 1951. – 2009. gadam (3.1. tab.): lielākais noteces apjoms veidojas pavasarī (44 %), kam seko ziema (26 %), rudens (20 %) un vasara (11 %). Tomēr, kā norāda Mann-Kendall testa rezultāti (3.4. tab.), tad statistiski ticama negatīva tendence parādās tieši aprīlī (galvenokārt centrālajā un ziemeļu hidroloģiskajā rajonā (64 % gadījumu)). Statistiski ticams pieaugums konstatēts janvārī un februārī (93 % gadījumu), kā arī martā (76 % gadījumu). Centrālajā un rietumu rajonā upju notece vairāk palielinās janvārī un februārī, savukārt austrumu un ziemeļu hidroloģiskajā rajonā pieaugums vērojams janvārī, februārī un arī martā. Statistiski nenozīmīgas izmaiņas vērojamas vasaras un rudens mēnešos. Kopumā Mann-Kendall testa rezultāti saskan ar T-testa rezultātiem un parāda izmaiņas upju notecē kopumā un starp hidroloģiskajiem rajoniem.

#### 3.4. tabula

#### Mann-Kendall testa rezultāti mēneša vidējam caurplūdumam par laika periodu no 1951. – 2009. gadam

HNS	Mēnesis											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jūn	Jūl	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
<b>Rietumu hidroloģiskais rajons</b>												
Venta-Kuldīga	<b>2,86</b>	<b>2,92</b>	1,79	<b>-2,99</b>	-1,16	<b>2,54</b>	<b>3,06</b>	0,39	-0,14	0,34	0,61	0,88
Abava-Renda	<b>3,02</b>	<b>2,71</b>	0,83	-0,53	-0,01	<b>3,49</b>	<b>1,94</b>	1,75	0,93	0,80	0,68	1,13
Irbe-Vičaki	1,81	1,44	<b>2,29</b>	-0,91	-1,26	1,03	<b>2,00</b>	0,69	0,36	0,79	1,65	0,85
Rīva-Pievīķi	<b>2,62</b>	1,87	1,09	-1,05	-1,00	0,66	0,89	0,74	-0,28	-0,09	0,22	0,78
Užava-Tērande	<b>2,89</b>	<b>2,50</b>	1,84	-1,33	-0,34	<b>2,04</b>	1,71	0,41	-0,40	0,25	0,50	0,55
Bārta-Dūkupji	<b>2,33</b>	<b>2,29</b>	<b>1,96</b>	<b>-2,35</b>	-1,07	0,94	1,91	0,72	-0,68	0,37	0,91	0,95
<b>Centrālais hidroloģiskais rajons</b>												
Lielupe-Mežotne	<b>3,79</b>	<b>3,54</b>	<b>2,25</b>	<b>-2,79</b>	-1,20	<b>2,66</b>	<b>4,00</b>	<b>2,47</b>	1,81	0,90	1,09	<b>2,37</b>
Mūsa-Bauska	<b>2,91</b>	<b>3,02</b>	<b>2,15</b>	<b>-2,45</b>	-0,86	1,69	<b>2,05</b>	0,47	0,10	0,63	1,24	<b>2,09</b>
Svēte-Ūziņi	<b>2,62</b>	<b>2,45</b>	1,64	<b>-2,78</b>	-1,52	1,20	1,61	-0,42	-0,51	0,14	1,81	1,89

HNS	Mēnesis											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jūn	Jūl	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Bērze-Baloži	<b>2,77</b>	<b>3,15</b>	1,85	-1,66	-0,84	<b>2,35</b>	1,73	-0,03	-0,39	-0,28	0,29	0,84
Iecava-Dupši	<b>1,97</b>	<b>2,17</b>	<b>2,45</b>	<b>-3,35</b>	<b>-2,62</b>	0,71	1,87	0,69	0,04	-0,83	-0,65	-0,13
<b>Ziemeļu hidroloģiskais rajons</b>												
Gauja-Sigulda	<b>2,65</b>	<b>2,99</b>	<b>3,24</b>	<b>-2,06</b>	-1,53	0,99	1,06	-0,41	-1,05	-1,18	0,61	0,97
Gauja-Velēna	<b>3,01</b>	<b>3,21</b>	<b>2,58</b>	<b>-2,23</b>	-0,49	<b>2,31</b>	<b>2,08</b>	0,63	0,05	0,31	1,47	<b>2,02</b>
Amata-Melturi	<b>2,30</b>	<b>3,44</b>	<b>2,65</b>	<b>-2,68</b>	-1,14	0,55	0,16	-1,16	-1,64	-0,56	0,39	0,26
Vaidava-Ape	<b>2,92</b>	<b>3,18</b>	<b>3,17</b>	<b>-2,15</b>	-1,79	1,68	1,36	-0,35	-0,50	-0,34	1,06	1,67
Ogre-Lielpēči	<b>2,79</b>	<b>2,58</b>	<b>2,82</b>	<b>-2,85</b>	-1,59	1,54	1,43	-0,76	-1,23	-0,59	0,81	0,67
Tirza-Lejasciems	<b>2,26</b>	<b>2,76</b>	<b>2,75</b>	-1,46	-1,74	0,93	0,04	-1,50	-1,48	-0,79	0,97	1,28
Salaca-Lagaste	<b>3,05</b>	<b>2,92</b>	<b>3,08</b>	-0,60	-1,05	1,38	1,86	1,44	-0,02	-0,13	0,92	1,40
Lielā Jugla-Zači	<b>2,46</b>	<b>2,80</b>	<b>2,91</b>	<b>-3,28</b>	-1,37	<b>3,14</b>	1,76	0,20	-0,56	-0,03	0,95	0,22
<b>Austrumu hidroloģiskais rajons</b>												
Daugava-Daugavpils	1,80	<b>2,89</b>	<b>3,44</b>	<b>-2,03</b>	<b>-2,13</b>	0,01	1,15	0,96	0,73	0,63	1,11	1,70
Daugava-Jēkabpils	<b>2,60</b>	<b>3,67</b>	<b>3,37</b>	-1,61	-1,41	-0,08	1,18	1,43	1,46	1,36	1,80	<b>2,65</b>
Aiviekste-Aiviekste	<b>2,65</b>	<b>2,62</b>	<b>2,72</b>	<b>-1,96</b>	<b>-3,50</b>	-0,91	1,04	0,32	0,25	0,94	1,26	1,68
Dubna-Sīļi	<b>2,35</b>	<b>2,86</b>	<b>2,96</b>	<b>-2,64</b>	-0,22	<b>2,33</b>	<b>2,00</b>	0,69	-0,19	-0,20	0,82	1,05
Rēzekne-Griškāni	<b>2,38</b>	<b>2,71</b>	<b>2,51</b>	-1,50	1,10	<b>2,23</b>	<b>2,05</b>	0,99	0,96	0,90	1,05	1,50
Pededze-Litene	<b>3,18</b>	<b>2,97</b>	<b>2,42</b>	<b>-2,00</b>	<b>-2,12</b>	1,22	0,13	-1,11	-0,79	0,13	0,62	1,26

*treknrakstā – statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$*

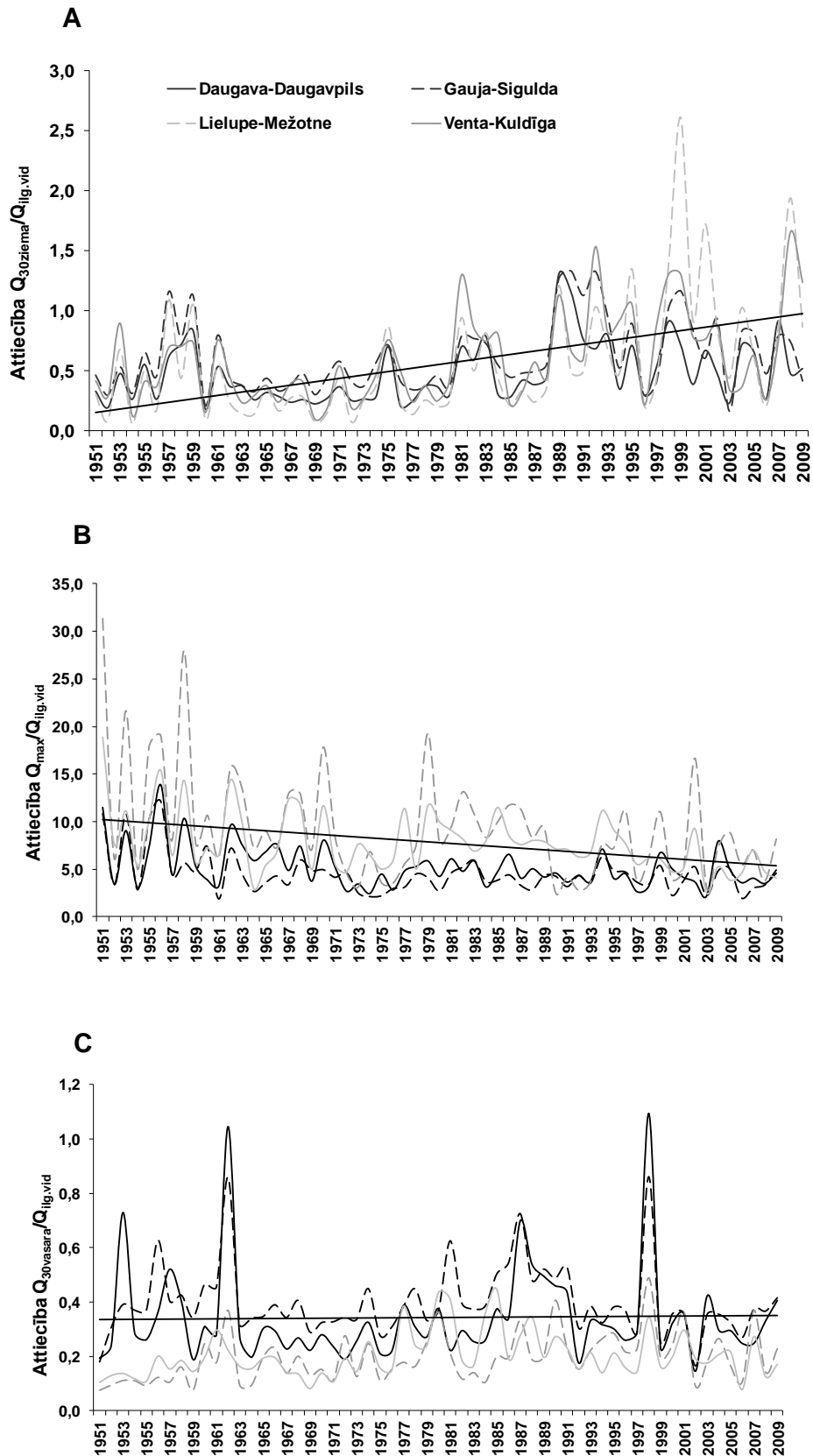
### 3.1.2. Gada vidējā, mazūdens perioda un daudzūdens perioda notece

Lai noteiktu noteces izmaiņas gadsimtu mijā, analizētas attiecības starp ikgadējo ziemas un vasaras 30 dienu minimālā caurplūduma, daudzūdens perioda noteci un ilggadīgi vidējo noteci, salīdzinot 3 pētījuma periodus. Iegūtie rezultāti (3.5. tab.) ļauj novērtēt izmaiņu lielumu. Laika posmā no 1988. – 2009. gadam visās pētītajās upēs pieauga  $Q_{30ziemas}/Q_{ilg.vid}$  attiecība, salīdzinot ar pētījuma periodu no 1951. – 1987. gadam. Augstākā attiecība iegūta rietumu hidroloģiskajā rajonā (0,81), bet zemākā centrālajā hidroloģiskajā rajonā (0,68). Savukārt visās upēs samazinājās  $Q_{max}/Q_{ilg.vid}$  attiecība. Lielākā atšķirība tika novērota centrālā hidroloģiskā rajona upēm (1988. – 2009. gada koeficients 6,38; 1951. – 2009. gada koeficients 10,4), kam seko ziemeļu, austrumu un rietumu hidroloģiskais rajons. Aprēķinātā  $Q_{30vasaras}/Q_{ilg.vid}$  attiecība neuzrādīja ievērojamas izmaiņas starp pētījuma periodiem.

Trendu analīze laika periodam no 1951. – 2009. gadam uzrādīja statistiski ticamu pieaugumu saistībā ar ziemas 30 dienu minimālajiem caurplūdumiem visās pētītajās HNS, kā arī statistiski ticamu samazināšanos maksimālajiem caurplūdumiem 72 % gadījumu. Statistiski ticams negatīvs/pozitīvs trends vasaras 30 dienu minimālajiem caurplūdumiem novērots tikai 4 pētījuma vietās, bet attiecībā uz gada vidējo caurplūdumu tikai 5 pētījuma vietās (3. pielikums). 3.4. attēlā parādīti aprēķināto attiecību trendi 30 dienu minimālajiem ziemas un vasaras caurplūdumiem, kā arī gada maksimālajam caurplūdumam Daugavpils, Gaujas, Ventas un Lielupes piemērā. Kopumā būtiskas atšķirības trends starp hidroloģiskajiem rajoniem nav novērojamas, izņemot rietumu hidroloģisko rajonu.

**Gada vidējā ( $Q_{vid}$ ) un maksimālā ( $Q_{max}$ ), ziemas ( $Q_{30ziemas}$ ) un vasaras ( $Q_{30vasaras}$ ) 30 dienu minimālā caurplūduma attiecības pret ilgadiģi vidējo caurplūdumu rezultāti**

<b>Pētījuma periods</b>	<b><math>Q_{30ziemas}</math></b>	<b><math>Q_{30vasaras}</math></b>	<b><math>Q_{max}</math></b>	<b><math>Q_{vid}</math></b>
<b>Rietumu hidroloģiskais rajons</b>				
1951–2009	0,64	0,21	7,07	1,00
1951–1987	0,52	0,22	7,51	0,97
1988–2009	0,81	0,21	6,40	1,05
<b>Centrālais hidroloģiskais rajons</b>				
1951–2009	0,48	0,19	8,92	1,00
1951–1987	0,34	0,19	10,4	0,99
1988–2009	0,68	0,18	6,38	1,01
<b>Ziemeļu hidroloģiskais rajons</b>				
1951–2009	0,53	0,26	7,14	1,00
1951–1987	0,40	0,26	7,79	0,97
1988–2009	0,72	0,25	6,01	1,04
<b>Austrumu hidroloģiskais rajons</b>				
1951–2009	0,54	0,38	5,98	1,00
1951–1987	0,42	0,37	6,58	0,95
1988–2009	0,75	0,41	4,99	1,08
<b>Latvijā kopumā</b>				
1951–2009	0,55	0,26	7,28	1,00
1951–1987	0,42	0,26	8,07	0,97
1988–2009	0,74	0,26	5,95	1,05



3.4. att. Ziemas 30 dienu minimālā (A), gada maksimālā (B) un vasaras 30 dienu minimālā (C) caurplūdumu trendi periodā no 1951. – 2009. gadam

### 3.1.3. Izmaiņas nākotnes klimata apstākļos 21. gadsimta beigās

#### 3.1.3.1. HBV modeļa kalibrācijas un validācijas rezultāti

HBV hidroloģiskais modelis kalibrēts laika periodam no 1961. – 1990. gadam un validēts laika periodam no 1991. – 2000. gadam sešiem Latvijas upju baseiniem. Kalibrācijas rezultāti uzrādīja labu saistību starp novērotajiem un modelētajiem ikdienas caurplūdumiem, un statistiskais kritērijs  $R^2$  variē robežās no 0,72 – 0,82 (3.6. tab.).

3.6. tabula

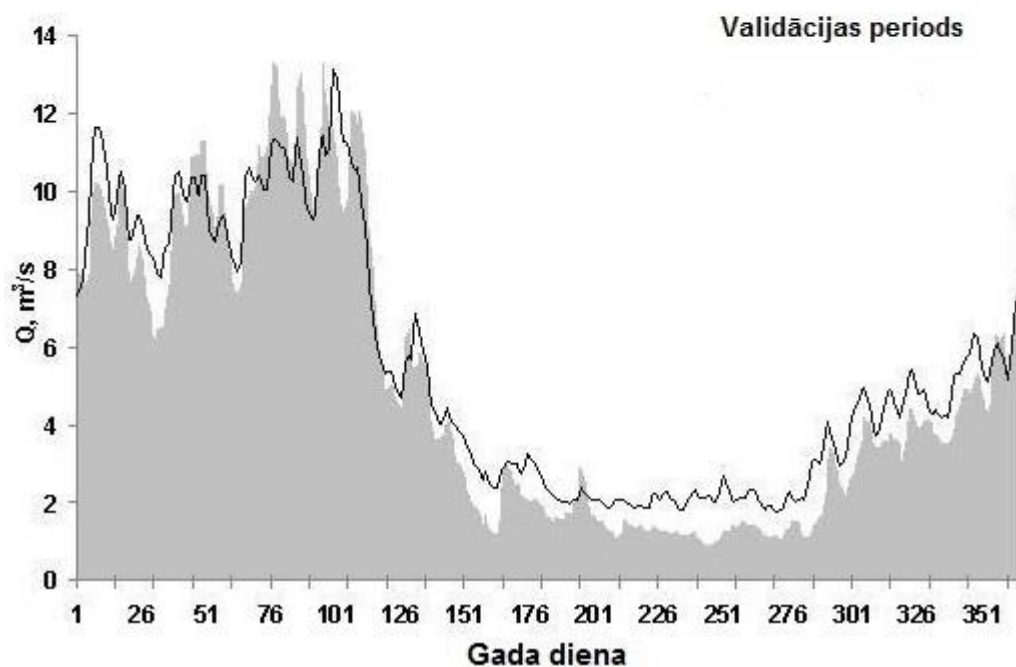
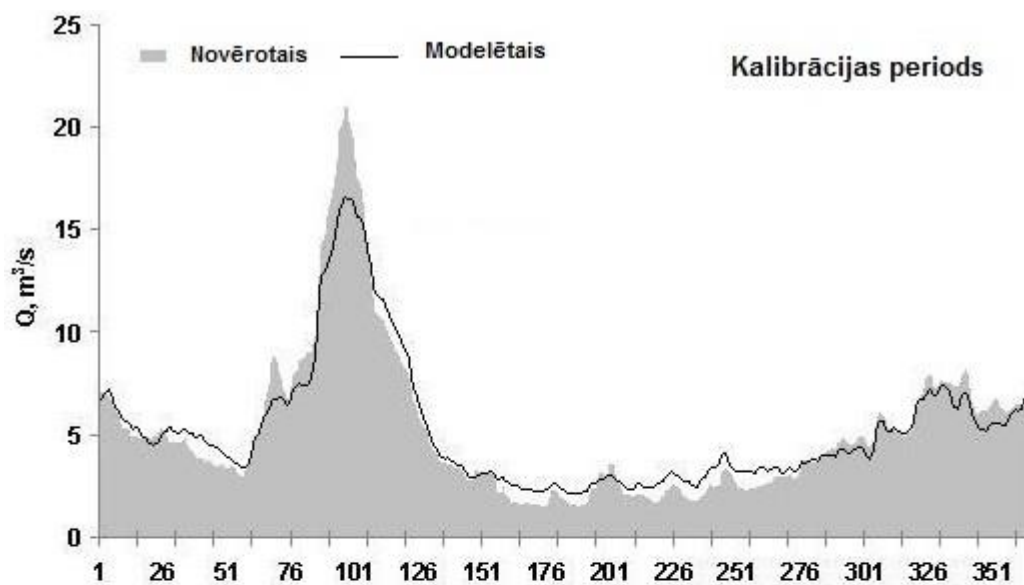
#### Iegūtie statistiskie kritēriji pētāmajiem upju baseiniem

HNS	Kalibrācijas periods (1961 – 1990)	Validācijas periods (1991 – 2000)
	$R^2$	$R^2$
Imula – Pilskalni**	0,78	0,75
Bērze – Baloži	0,82	0,80
Iecava – Dupši**	0,72	0,72
Dursupe – Jaunplavas*	0,74	0,69
Vienziemīte – Vienziemīte	0,77	0,70
Salaca – Lagaste	0,80	0,71

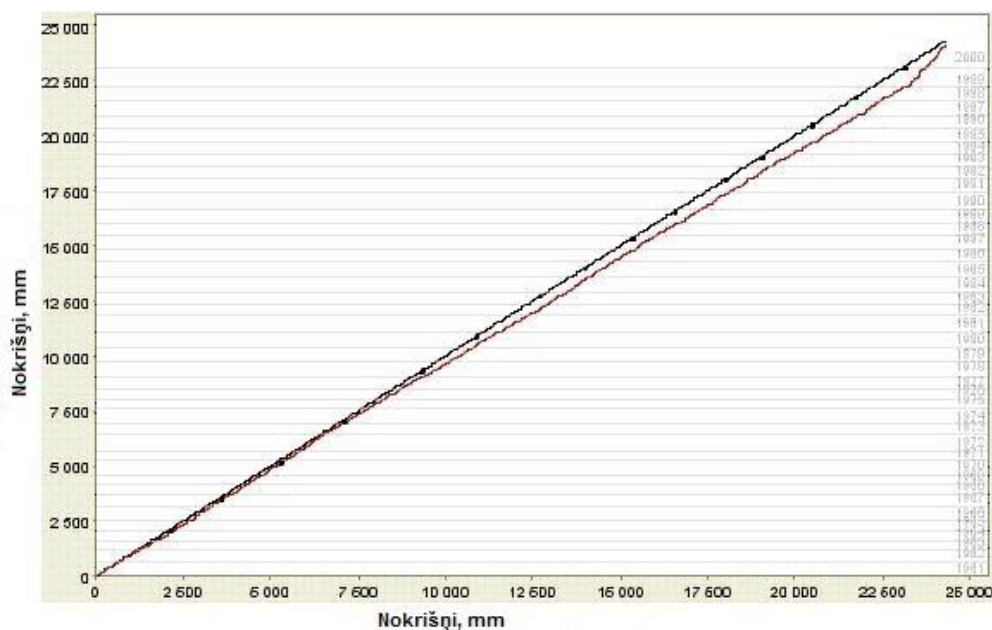
\*Darbojas, sākot ar 1980. gadu; \*\* Slēgta kopš 1995. gada

Labākie kalibrācijas rezultāti iegūti Bērzes (3.5. att.) un Salacas baseinā. Zemākais kalibrācijas rādītājs iegūts Dursupes – Jaunplavas HNS gadījumā. Validācijas rezultāti (statistiskais kritērijs  $R^2$  variē robežās no 0,69 – 0,80) uzrāda, ka HBV hidroloģiskais modelis ir pielietojams hidroloģisko procesu modelēšanā, izmantojot meteoroloģisko novērojumu datus.

Pielietojot viendabīguma testu, tika noteikts, vai pētījuma datus ir iztrūkumi. Uz X ass attēlota nokrišņu summa analizējamajā stacijā, savukārt uz Y ass – vidējā nokrišņu summa pārējās novērojumu stacijās, kas atrodas upes baseinā. Kopējais nokrišņu daudzums izmantotajās stacijās ir viendabīgs, ja nokrišņu summas līkne ir lineāra. Kopumā homogenitātes analīzes rezultāti ir labi (3.6. att.), tomēr atsevišķos gadījumos atmosfēras nokrišņu datu kvalitāte varēja būt labāka.



3.5. att. Ilggadīgi vidējais novērotais un modelētais ikdienas caurplūdums kalibrācijas (1961 – 1990. gadam) un validācijas (1991 – 2000. gadam) periodam Bērzes – Baložu hidroloģiskajā novērojumu stacijā



3.6. att. Nokrišņu datu rindu viendabīgums Bērzes upes baseinā laika posmā no 1961. – 2000. gadam (X ass – nokrišņu summa analizējamajā stacijā (sarkans), Y ass – vidējā nokrišņu summa pārējās MNS (melns))

### 3.1.3.2. Klimata datu izmaiņas

Klimata datu izmaiņu rezultāti (atšķirība starp nākotnes scenāriju un kontroles periodu) apkopoti 3.7., 3.8. un 3.9. tabulā. Būtiskākās izmaiņas prognozētas pēc A2 scenārija, kur gada vidējā gaisa temperatūra paaugstinājusies par 3,9 – 4,1 °C, atmosfēras nokrišņi palielinājušies par 9 – 12 %, bet iztvaikošana par 22 – 28 %. Visiem meteoroloģiskajiem parametriem vērojams pieauguma trends, bet statistiski ticams trends gaisa temperatūrai par 2,6 – 2,7 °C un iztvaikošanai par 15 – 27 %, kā arī atmosfēras nokrišņiem par 10 % vērojams divos upju baseinos (Dursupes un Salacas) pēc B2 scenārija.

Vidējās gaisa temperatūras sezonālā analīze norāda uz statistiski ticamu tās pieaugumu visās sezonās, bet vislielākais pieaugums prognozēts ziemā (DJF) un rudenī (SON) attiecīgi 4,4 – 4,9 °C un 4,0 – 4,2 °C pēc A2 scenārija un 3,0 – 3,4 °C pēc B2 scenārija abās sezonās. Mazākās izmaiņas saistītas ar vasaru (JJA), kur pēc A2 scenārija gaisa temperatūra pieaugs par 3,0 – 3,6 °C, bet pēc B2 scenārija par 1,3 – 1,9 °C.

Pēc abiem nākotnes klimata scenārijiem atmosfēras nokrišņiem, kā arī iztvaikošanai pieaugums vērojams galvenokārt gada pirmajā pusē, bet samazināšanās gada otrajā pusē. Statistiski ticams atmosfēras nokrišņu daudzuma pieaugums ziemā (DJF) visos upju baseinos par 47 – 69 % vērojams A2 scenārija gadījumā un par 27 – 38 % B2 scenārija gadījumā, savukārt pārējās sezonās pieaugums vai samazinājums nav būtisks. Izmaiņas iztvaikošanas gada ciklā un sezonālā ir daudz vairāk saistītas ar gaisa temperatūru. Statistiski ticama iztvaikošanas palielināšanās pēc abiem nākotnes scenārijiem novērojama ziemā, kam seko pavasaris un rudens. Vasarā izmaiņas iztvaikošanā nav statistiski ticamas.

Gaisa temperatūras izmaiņas (°C) starp A2 un B2 scenāriju un kontroles periodu

Periods vai sezona / scenārijs	Upes baseins					
	Imula	Dursupe	Bērze	Iecava	Vienziemīte	Salaca
min/vid/max						
Gada / A2	8,2/4,1/4,1	8,0/3,9/4,0	9,5/3,9/4,1	9,3/4,0/4,7	9,6/4,1/4,4	9,0/4,0/4,0
DJF / A2	8,1/4,5/4,0	7,9/4,4/3,3	9,3/4,7/3,6	9,1/4,9/3,7	9,6/4,9/3,6	8,9/4,9/3,5
MAM / A2	4,3/4,1/4,2	4,8/3,8/4,1	4,9/3,8/4,1	5,9/3,9/4,2	6,9/4,1/4,5	6,5/4,1/4,5
JJA / A2	3,0/3,6/4,0	2,8/3,3/4,0	2,3/3,1/4,0	2,9/3,1/4,4	3,3/3,1/4,2	2,9/3,0/3,8
SON / A2	5,5/4,2/4,9	4,6/4,0/4,4	5,6/4,1/4,9	6,4/4,2/4,9	6,3/4,2/4,5	6,3/4,1/4,1
Gada / B2	5,4/2,7/1,9	6,3/2,6/1,8	6,8/2,6/1,9	7,2/2,6/1,9	7,3/2,7/2,1	6,9/2,7/1,7
DJF / B2	5,4/3,0/2,9	6,3/3,0/2,1	6,8/3,1/2,7	7,1/3,2/2,3	7,5/3,3/2,5	7,0/3,4/2,7
MAM / B2	4,2/2,7/1,8	4,8/2,6/1,5	4,7/2,4/1,7	6,0/2,8/1,7	6,5/2,9/2,2	6,1/2,9/2,1
JJA / B2	1,7/1,9/1,7	1,7/1,7/1,7	1,0/1,4/1,7	1,6/1,5/1,8	1,7/1,5/1,9	1,7/1,3/1,5
SON / B2	4,5/3,4/3,6	4,3/3,0/2,5	4,7/3,3/3,6	5,1/3,0/2,8	4,5/3,0/2,8	4,8/3,0/2,6

Visas izmaiņas statistiski būtiskas pie  $p < 0,05$

Atmosfēras nokrišņu daudzuma izmaiņas (%) starp A2 un B2 scenāriju un kontroles periodu

Periods vai sezona / scenārijs	Upes baseins					
	Imula	Dursupe	Bērze	Iecava	Vienziemīte	Salaca
Gada / A2	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>12</b>
DJF / A2	<b>64</b>	<b>66</b>	<b>69</b>	<b>51</b>	<b>47</b>	<b>55</b>
MAM / A2	14	7	13	12	16	11
JJA / A2	-9	-1	-6	-2	-1	3
SON / A2	-2	-2	-3	-8	-6	-2
Gada / B2	8	<b>10</b>	8	2	6	<b>10</b>
DJF / B2	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>32</b>
MAM / B2	7	5	7	6	6	8
JJA / B2	-2	7	0	2	2	9
SON / B2	1	1	0	-5	-5	-2

*treknrakstā* – statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$

## Iztvaikošanas daudzuma izmaiņas (%) starp A2 un B2 scenāriju un kontroles periodu

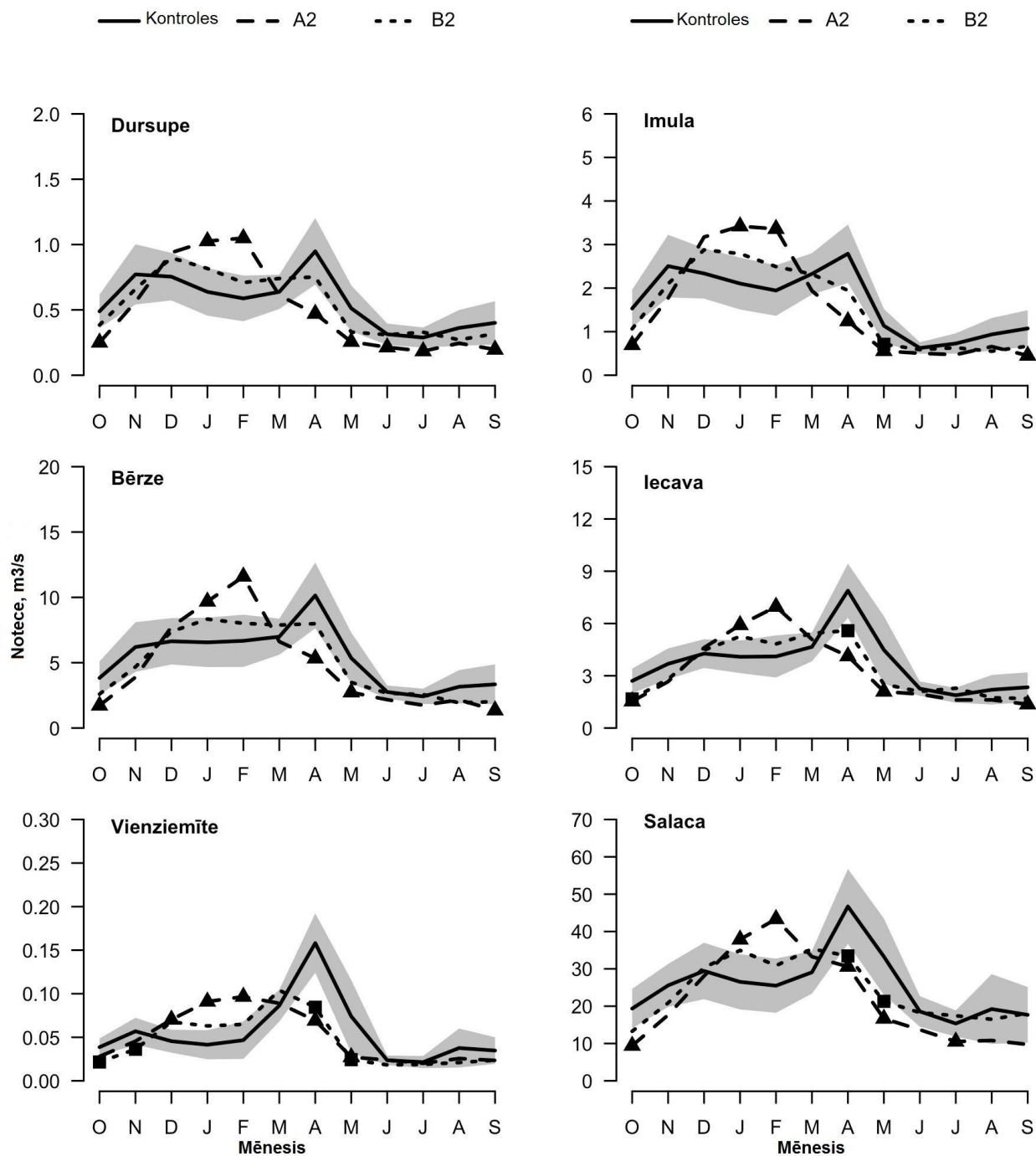
Periods vai sezona / scenārijs	Upes baseins					
	Imula	Dursupe	Bērze	Iecava	Vienziemīte	Salaca
Gada / A2	25	24	23	22	28	28
DJF / A2	353	292	319	427	805	495
MAM / A2	46	46	42	32	64	46
JJA / A2	-2	-1	-2	2	-1	9
SON / A2	20	25	21	21	28	35
Gada / B2	18	17	16	15	27	19
DJF / B2	195	152	169	219	789	272
MAM / B2	31	32	27	23	60	32
JJA / B2	0,4	0,09	-0,3	1	-0,4	6
SON / B2	23	21	24	17	31	24

*treknrakstā – statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$*

## 3.1.3.3. Upju noteces režīma izmaiņas

HBV modeļa simulācijas rezultāti visos 6 upju baseinos uzrāda, ka upju noteces režīma izmaiņas saistītas ar abiem nākotnes klimata scenārijiem – A2 un B2 (3.7. att.). Lielākās izmaiņas saistītas ar A2 scenāriju, pēc kura gada vidējās upju noteces samazināšanās prognozēta robežās no 8 – 15 %, bet pēc B2 scenārija no 3 – 18 %. Tomēr statistiski ticama vidējās upju noteces samazināšanās vērojama Vienziemītes upes baseinā B2 scenārija gadījumā (3.10. tab.). Kā redzams 3.7. attēlā, tad sezonālajā upju notecē lielākās izmaiņas saistītas ar ziemas un pavasara sezonām.

Ziemā, pateicoties gaisa temperatūras un atmosfēras nokrišņu pieaugumam, statistiski ticama upju noteces palielināšanās par 34 – 93 % prognozēta A2 scenārija gadījumā visos pētāmajos upju baseinos un par 17 – 46 % B2 scenārija gadījumā (tikai 2 upju baseinos – Imulas un Vienziemītes) (3.10. tab.). Pārējās sezonās pēc A2 scenārija vērojama statistiski ticama upju noteces samazināšanās visos pētāmajos upju baseinos (par 26 – 40 %), bet pēc B2 scenārija par 13 – 33 %, taču tikai Iecavas un Vienziemītes upju baseinos samazināšanās ir statistiski ticama. Arī vasaras sezonā vērojama noteces samazināšanās par 16 – 34 % pēc A2 scenārija un par 2 – 30 % pēc B2 scenārija. Attiecībā uz rudens sezonu gan A2, gan B2 scenārija gadījumā vērojama vidējās noteces samazināšanās. Būtiskākā vidējās noteces daudzuma samazināšanās saistīta ar A2 scenāriju (26 – 48 %). B2 scenārija gadījumā tie ir 17 – 37 %. Palielinātā noteces samazināšanās pēc vasaras perioda iespējams saistīta ar nelielu atmosfēras nokrišņu daudzuma pieaugumu rudens sezonā, savukārt vidējās gaisa temperatūras un vidējās iztvaikošanas palielināšanos.



3.7. att. Upju hidrogrāfi kontroles periodam un nākotnes klimata scenārijiem (A2 un B2) pētāmajos upju baseinos. Melnie trīsstūri un kvadrāti attiecīgajam scenārijiem norāda statistiski ticamas izmaiņas mēneša vidējās vērtībās

## Izmaiņas gada vidējā notecē (%) starp nākotnes scenārijiem un kontroles periodu

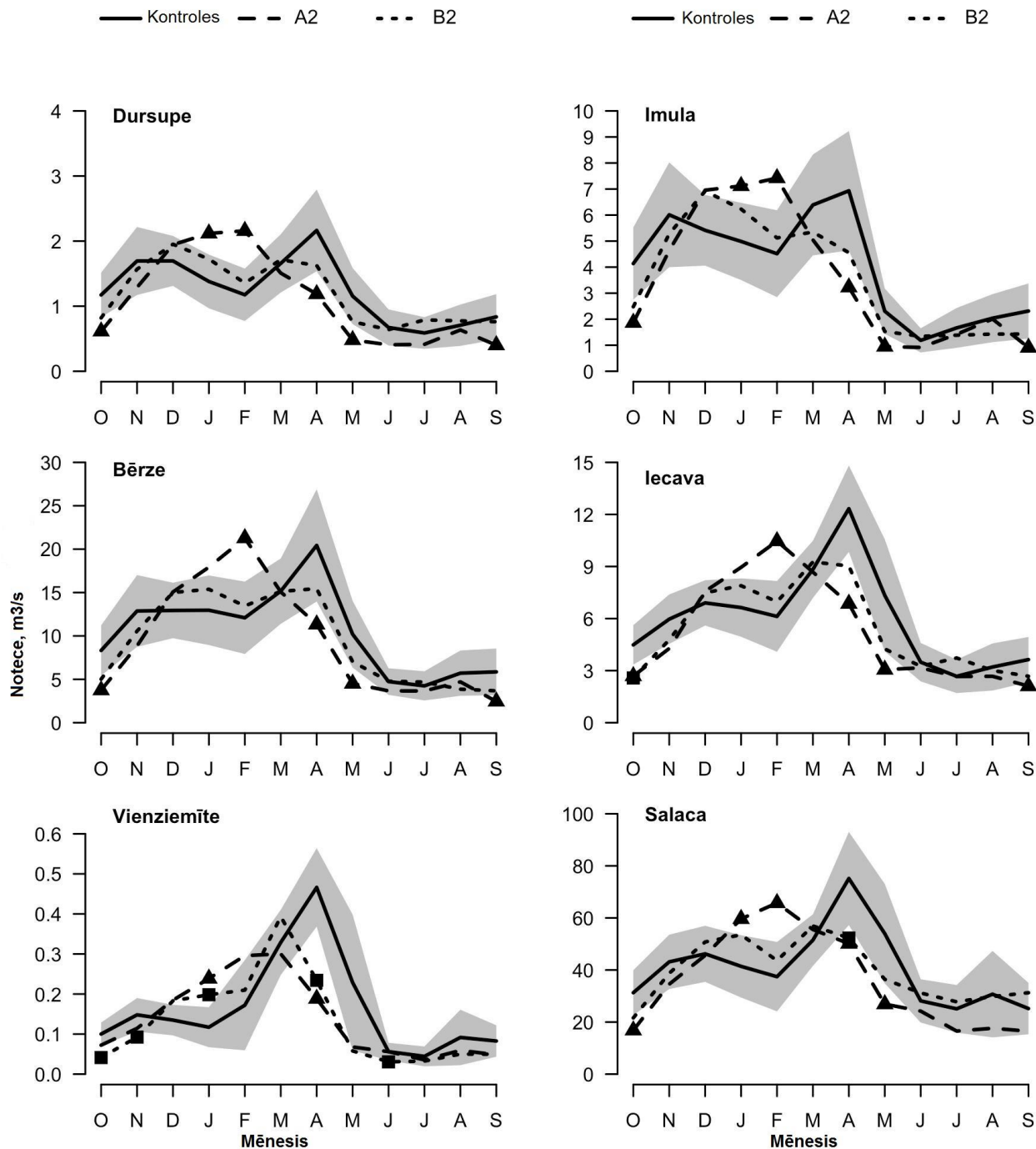
Periods vai sezona/ scenārijs	Upes baseins					
	Imula	Dursupe	Bērze	Iecava	Vienziemīte	Salaca
Gada / A2	-9	-10	-11	-11	-8	-15
DJF / A2	<b>56</b>	<b>52</b>	<b>46</b>	<b>40</b>	<b>93</b>	<b>34</b>
MAM / A2	<b>-40</b>	<b>-36</b>	<b>-35</b>	<b>-34</b>	<b>-42</b>	<b>-26</b>
JJA / A2	-29	<b>-33</b>	-27	-18	-16	<b>-34</b>
SON / A2	<b>-43</b>	<b>-39</b>	<b>-48</b>	<b>-36</b>	-26	<b>-41</b>
Gada / B2	-6	-3	-7	-9	<b>-18</b>	-5
DJF / B2	<b>28</b>	22	19	17	<b>46</b>	18
MAM / B2	-20	-13	-14	<b>-20</b>	<b>-33</b>	-17
JJA / B2	-23	-6	-14	-3	-30	-2
SON / B2	-25	-18	-30	<b>-29</b>	<b>-37</b>	-17

*treknrakstā – statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$*

Neizbēgami mainīsies arī upju hidrogrāfi, jo gan pēc A2, gan B2 scenārija vērojamas noteces apjoma izmaiņas. Lielākais noteces apjoma pieaugums prognozēts janvārī un februārī, savukārt lielākā samazināšanās vērojama aprīļa un maija mēnešos. Pēc abiem nākotnes klimata scenārijiem arī gada otrajā pusē prognozēta noteces apjoma samazināšanās. Tomēr lielākās izmaiņas prognozētas tieši septembra un oktobra mēnešos. Salīdzinot kontroles perioda un pēc nākotnes klimata scenārijiem iegūtos hidrogrāfus (3.7. att.), redzams, ka pavasarī nav vairs izteikta palu maksimuma, turklāt ja iepriekš maksimālie ūdens līmeņi ir novērojami aprīļa mēnesī, tad pēc nākotnes scenāriju rezultātiem, tie var būt novērojami jau februārī, martā. Nav vairs izteikta ziemas mazūdens perioda, kā arī izzūd rudens lietavu izraisītie uzplūdi. Arī vasaras mazūdens periods iesākas ātrāk, sākot ar maija mēnesi, un turpinās līdz pat oktobrim.

Visos upju baseinos prognozētas sezonālas izmaiņas vidējos maksimālajos caurplūdumos (3.8. att.). Līdzīgi kā gada vidējās noteces gadījumā, arī maksimālajos caurplūdumos lielākās izmaiņas novērojamas pēc A2 klimata scenārija (pieaugums par 26 – 45 % ziemā, samazinājums par 28 – 44 % pavasarī un par 22 – 39 % rudenī) (3.11. tab.).

Kā redzams 3.7. un 3.8. attēlā, tad nākotnē upju hidrogrāfos iezīmējas divi galvenie periodi pašreizējo četru periodu vietā – daudzūdens periods no novembra līdz aprīlim un mazūdens periods no maija līdz oktobrim. Atsevišķos gadījumos caurplūduma pīķis rudenī vairs nav novērojams, bet pavasara caurplūduma pīķis tiek novirzīts uz agrāku laiku – uz februāri A2 scenārija gadījumā un decembri vai martu B2 scenārija gadījumā. Tas varētu nozīmēt, ka ziemas mazūdens periods varētu izzust, bet, atkarībā no katra konkrētā nākotnes klimata scenārija, vasaras mazūdens periods būtu daudz izteiktāks.



3.8. att. Vidējā maksimālā caurplūduma izmaiņas kontroles periodam un nākotnes klimata scenārijiem (A2 un B2) pētāmajos upju baseinos. Melnie trīsstūri un kvadrāti attiecīgajam scenārijiem norāda statistiski ticamas izmaiņas mēneša vidējās vērtībās

Izmaiņas vidējā maksimālā caurplūdumā (%) starp nākotnes scenārijiem un kontroles periodu

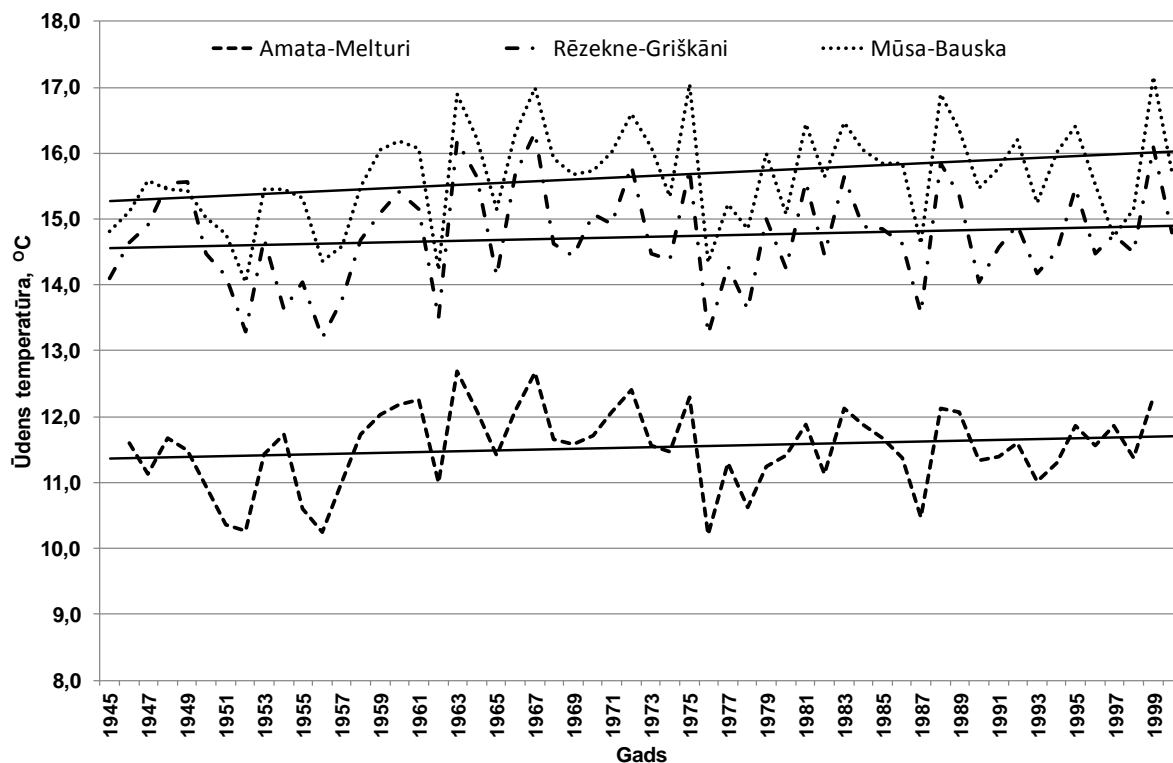
Periods vai sezona/ scenārijs	Upes baseins					
	Imula	Dursupe	Bērze	Iecava	Vienziemīte	Salaca
Gada/A2	7	4	6	-11	-26	-14
DJF/A2	<b>30</b>	<b>42</b>	<b>33</b>	<b>29</b>	45	26
MAM/A2	<b>-34</b>	<b>-31</b>	-28	<b>-32</b>	<b>-44</b>	<b>-28</b>
JJA/A2	-1	-24	-13	-14	-35	-37
SON/A2	-32	-29	-39	-29	-29	-22
Gada/B2	-2	16	-3	-14	-24	-4
DJF/B2	8	15	3	7	22	17
MAM/B2	-17	-6	-11	-17	-30	-14
JJA/B2	-8	5	-17	8	-45	4
SON/B2	-17	-9	-25	-22	<b>-39</b>	2

*treknrakstā – statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$*

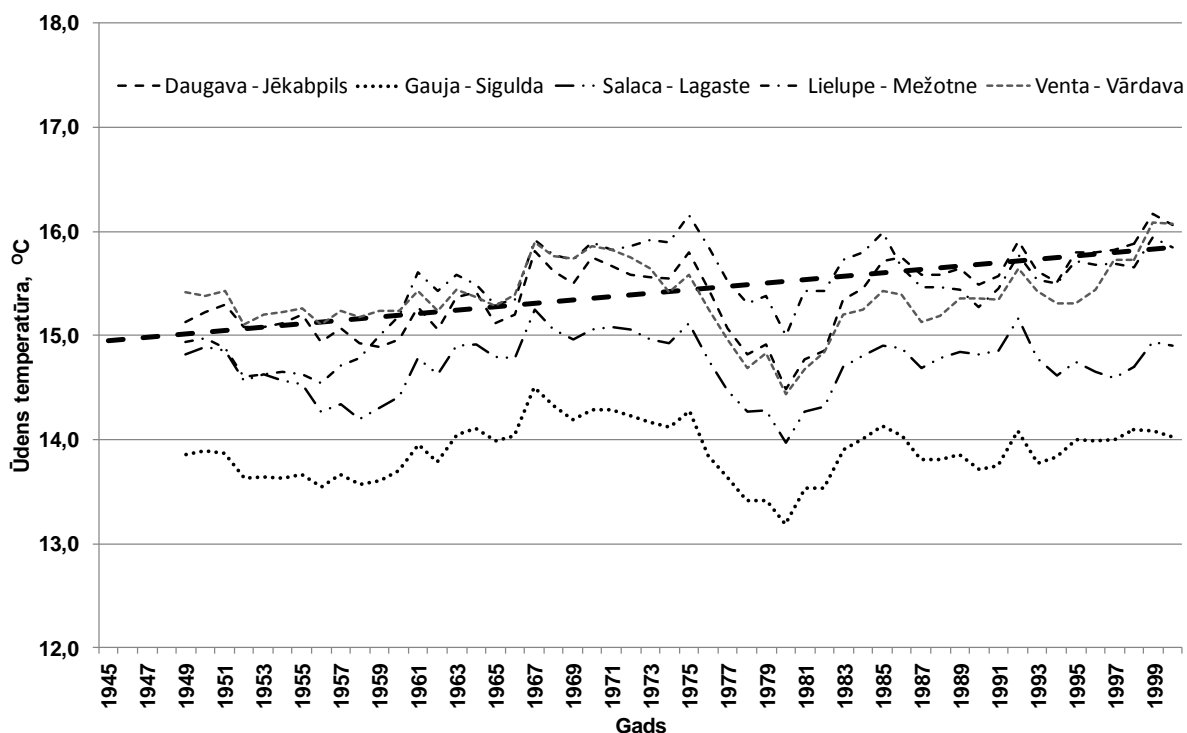
### 3.2. Upju virsējā slāņa ūdens temperatūras izmaiņas

#### 3.2.1. Siltās sezonas vidējā ūdens temperatūra

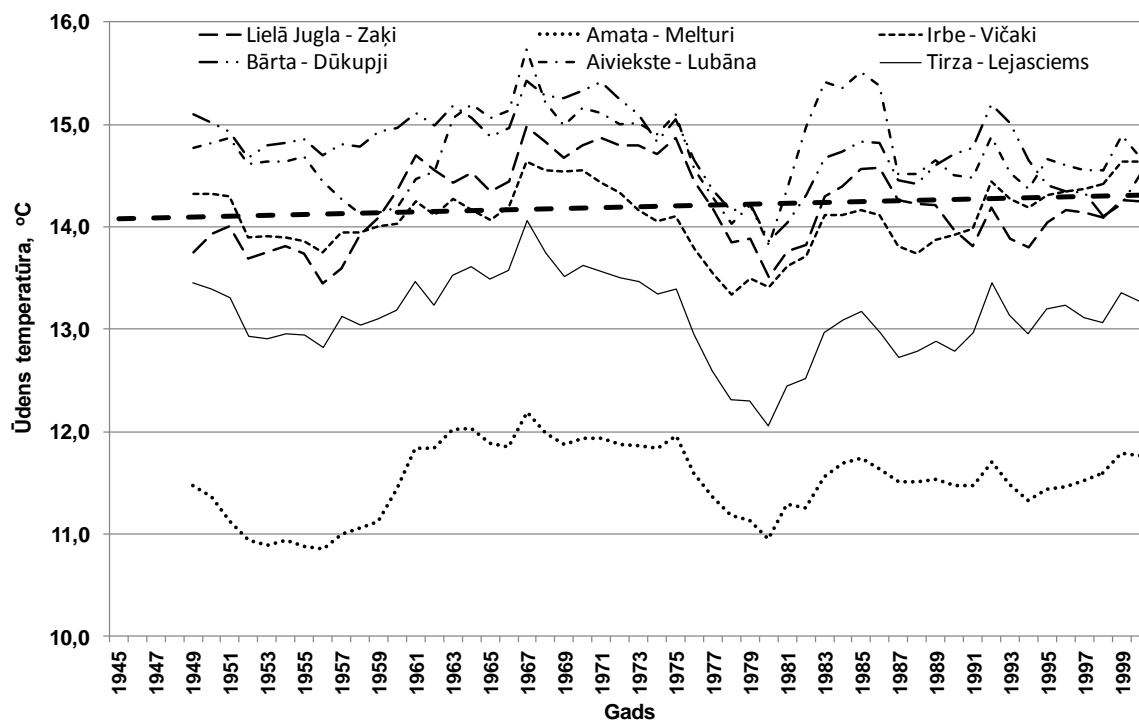
Analizējot vidējo ūdens temperatūru (no maija līdz oktobrim) (Amatas, Rēzeknes un Mūsas piemērā), redzams, ka upēs ir novērojama līdzīga ūdens temperatūras dinamika (3.9. att.). Zemākā vidējā ūdens temperatūra Amatā un Rēzeknē novērojama 1976. gadā (attiecīgi 10,2 un 13,2 °C), bet Mūsā 1952. gadā (14,1 °C). Mūsā 1976. gadā novērojama otrā zemākā vidējā ūdens temperatūra (14,3 °C). Augstākā vidējā ūdens temperatūra Amatā ir 12,7 °C 1967. gadā. Arī Rēzeknes upē 1967. gadā novērota augstākā temperatūra – 16,3 °C, savukārt Mūsā augstākā vidējā ūdens temperatūra ir 17,2 °C 1999. gadā. Līdzīgas tendences novērojamas arī pārējās Latvijas upēs (3.10., 3.11. att.).



3.9. att. Vidējā ūdens temperatūra (maijs - oktobris) periodā no 1945. – 2000. gadam Amatas – Melturu, Rēzeknes – Griškānu un Mūsas – Bauskas HNS piemērā. Nepārtrauktā līnija – mainības tendences



3.10. att. Vidējās ūdens temperatūras (maijs - oktobris) tendi periodā no 1945. – 2000. gadam Latvijas lielo upju piemērā. Ūdens temperatūras dati izlīdzināti, izmantojot 5 gadu slidošo vidējo vērtību. Pārtrauktā līnija – mainības tendence



3.11. att. Vidējās ūdens temperatūras (maijs - oktobris) tendēni periodā no 1945. – 2000. gadam Latvijas vidējo un mazo upju piemērā. Ūdens temperatūras dati izlīdzināti, izmantojot 5 gadu slīdošo vidējo vērtību. Pārtrauktā līnija – mainības tendence

Pētījuma rezultāti parādīja, ka novērojuma periodā no maija līdz oktobrim ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra augstāka ir lielajām Latvijas upēm (3.12. tab.). Visaugstākā ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra vērojama Lielupē posmā Mežotne – Sloka attiecīgi 15,4 – 16,1 °C. Savukārt Daugavā posmā no Piedrujas līdz Jēkabpīlij ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra ir robežās no 15,3 – 15,5 °C, bet nedaudz zemāka Ventā posmā Vārdava – Vendzava (15,1 – 15,4 °C), kā arī Salacā no Mazsalacas līdz Lagastei (attiecīgi 15,0 – 14,7 °C). Viszemākā ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra no Latvijas lielajām upēm ir Gaujai, kur posmā no Velēnas līdz Siguldai tā ir robežās no 13,6 – 14,2 °C.

Vērtējot ilggadīgi vidējo ūdens temperatūras sadalījumu Latvijas mazo un vidējo upju baseinos (3.12. tab.), redzams, ka visaugstākā tā ir Lielupes baseina mazajās upēs Mūsā, Svētē un Bērzē (14,3 – 15,7 °C). Augstāka par 15,0 °C ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra ir Dubnas upē, bet citās Daugavas baseina mazajās upēs – Pededzē, Rēzeknē, Ogrē un Lielajā Juglā ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra ir robežās no 13,5 – 14,8 °C. Līdzīga situācija vērojama arī piejūras mazajās upēs un Abavā. Viszemākā ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra ir Gaujas baseina mazajās upēs Tirzā, Vaidavā un Amatā, tikai 11,5 – 13,1 °C.

Aprēķinot ilggadīgi vidējo temperatūru, redzams, ka lielākā daļa lielo upju ir siltākas nekā mazās un vidējās upes. Turklāt gadījumos, kad uz upes atrodas vairākas HNS, upju augštecēs ūdens temperatūra ir nedaudz zemāka, kā lejup pa straumi (3.12. tab.).

Līdzīgas tendences vērojamas attiecībā uz ilggadīgi vidējo minimālo ūdens temperatūru. Augstāka vidējā minimālā ūdens temperatūra novērojama lielajās upēs, bet

nedaudz zemāka mazajās upēs. Lielupē, Ventā un Daugavā tā ir robežās no 13,5 – 14,1 °C, savukārt Salacā ap 13,0 °C, bet Gaujā < 13,0 °C (3.12. tab.). Visaugstākā ilggadīgi vidējā minimālā ūdens temperatūra no mazajām upēm ir Mūsā (14,1 °C), kam seko Dubnas upe ar 13,6 – 13,7 °C. Pārējās mazajās upēs ilggadīgi vidējā minimālā ūdens temperatūra ir ap 13,0 °C vai zemāka.

Aplūkojot datus saistībā ar ilggadīgi vidējo augstāko ūdens temperatūru, tad lielākajā daļā upju tā svārstās robežās ap 15,0 – 17,0 °C.

### 3.12. tabula

#### Ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra (°C) pētījuma periodā no 1945. – 2000. gadam

HNS	Periods	Vid	Min	Max	HNS	Periods	Vid	Min	Max
Daugava-Piedruja	1945-2000	15,4	13,8	17,2	Dubna-Višķi	1945-2000	15,5	13,7	17,1
Daugava-Krāslava	1945-1999	15,5	13,8	17,8	Dubna-Sīļi	1945-2000	15,1	13,6	16,6
Daugava-Daugavpils	1945-2000	15,3	13,7	17,1	Pededze-Litene	1960-2000	13,5	11,5	15,7
Daugava-Vaikulāni	1946-2000	15,4	13,9	17,0	Rēzekne-Griškāni	1945-2000	14,7	13,2	16,3
Daugava-Jēkabpils	1945-2000	15,4	13,7	17,3	Ogre-Lielpēči	1945-2000	14,8	11,3	16,4
Aiviekste-Lubāna	1945-2000	14,7	12,5	17,1	Lielā Jugla-Zaķi	1945-2000	14,2	12,5	15,9
Aiviekste-Aiviekstes HES	1952-2000	14,9	13,2	16,3	Tirza-Lejasciems	1946-2000	13,1	11,3	14,8
Gauja-Valmiera	1945-2000	14,2	12,6	15,7	Vaidava-Ape	1951-2000	12,0	10,6	15,1
Gauja-Sigulda	1945-2000	13,9	12,3	15,0	Amata-Melturi	1946-1999	11,5	10,2	12,7
Gauja-Velēna	1958-2000	13,6	12,1	15,1	Mūsa-Bauska	1945-2000	15,7	14,1	17,2
Salaca-Lagaste	1945-2000	14,7	13,1	15,9	Svēte-Ūziņi	1948-2000	14,3	12,2	15,6
Salaca-Mazsalaca	1951-2000	15,0	13,4	16,5	Bērze-Baloži	1961-2000	14,3	13,0	15,8
Lielupe-Mežotne	1945-2000	15,4	13,7	17,2	Abava-Renda	1964-2000	14,2	12,1	15,4
Lielupe-Staļģene	1945-1999	15,7	13,9	17,2	Irbe-Vičaki	1946-2000	14,1	12,5	15,6
Lielupe-Jelgava	1945-2000	16,1	13,9	17,9	Užava-Tērande	1947-2000	13,6	12,1	15,3
Lielupe-Sloka	1945-2000	15,7	14,1	17,2	Rīva-Pievīķi	1963-2000	13,8	12,3	15,2
Venta-Vārdava	1946-2000	15,4	14,0	17,1	Bārtā-Dūkupji	1949-2000	14,8	13,2	16,2
Venta-Kuldīga	1948-2000	15,1	13,5	16,4					
Venta-Vendzava	1949-2000	15,2	13,8	16,9					

Mann-Kendall testa rezultāti parādīja, ka novērojuma periodā no 1945. – 2000. gadam siltās sezonas no maija līdz oktobrim vidējai ūdens temperatūrai galvenokārt ir novērojams pozitīvs trends (72,2 % gadījumos), turklāt 22,2 % gadījumu trends ir statistiski ticams pie  $p < 0,05$  (3.13. tab.). Statistiski ticams trends novērojams Latvijas lielajās upēs Daugavā – Piedrujas, Daugavpils un Jēkabpils HNS, Salacā – Mazsalacas HNS, Lielupē Mežotnes un Slokas HNS, kā arī Mūsas – Bauskas un Dubnas – Višķu HNS. Tajā pašā laikā attiecībā uz vidējo ūdens temperatūru parādās arī statistiski ticams negatīvs trends (8,3 % gadījumu) (Pededzes – Litenes HNS, Vaidavas – Apes un Rīvas – Pievīķu HNS). Attiecīgi 19,4 % gadījumu novērojams negatīvs trends, kas nozīmē, ka vidējai ūdens temperatūrai ir tendence pazemināties. Negatīvs trends vērojams Aiviekstes upē, Gaujas augštecē pie Velēnas un Tirzā pie Lejasciema, kā arī Bērzē pie Baložiem, Abavā pie Rendas un Bārtā pie Dūkupjiem (3.13. tab.).

## Mann-Kendall testa rezultāti ilggadīgi vidējai ūdens temperatūrai

HNS	Vidējā temperatūra		HNS	Vidējā temperatūra	
	Testa vērtība	p-vērtība		Testa vērtība	p-vērtība
Daugava-Piedruja	<b>2,33</b>	0,02	Venta-Vendzava	1,72	0,09
Daugava-Krāslava	1,25	0,21	Dubna-Višķi	<b>3,19</b>	<0,001
Daugava-Daugavpils	<b>1,97</b>	0,05	Dubna-Sīļi	0,25	0,8
Daugava-Vaikuļāni	1,83	0,07	Pededze-Litene	<b>-2,63</b>	0,01
Daugava-Jēkabpils	<b>2,50</b>	0,01	Rēzekne-Griškāni	0,81	0,42
Aiviekste-Lubāna	-0,19	0,85	Ogre-Lielpēči	1,7	0,09
Aiviekste-Aiviekstes HES	-1,09	0,27	Lielā Jugla-Zaķi	0,76	0,45
Gauja-Valmiera	0,59	0,56	Tirza-Lejasciems	-0,79	0,43
Gauja-Sigulda	0,98	0,33	Vaidava-Ape	<b>-3,04</b>	<0,001
Gauja-Velēna	-1,2	0,23	Amata-Melturi	0,63	0,53
Salaca-Lagaste	0,65	0,52	Mūsa-Bauska	<b>2,16</b>	0,03
Salaca-Mazsalaca	<b>2,86</b>	< 0,001	Svēte-Ūziņi	0,85	0,39
Lielupe-Mežotne	<b>2,64</b>	0,01	Bērze-Baloži	-0,76	0,45
Lielupe-Staļģene	0,98	0,33	Abava-Renda	-0,94	0,35
Lielupe-Jelgava	1,79	0,07	Irbe-Vičaki	0,38	0,71
Lielupe-Sloka	<b>2,17</b>	0,03	Užava-Tērande	0,06	0,95
Venta-Vārdava	0,68	0,5	Rīva-Pievīķi	<b>-2,20</b>	0,03
Venta-Kuldīga	1,35	0,18	Bārta-Dūkupji	-1,38	0,17

*treknrakstā – statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$*

Tomēr, salīdzinot Mann-Kendall testa rezultātus pa mēnešiem, redzams, ka lielajās upēs daudz biežāk novērojams pozitīvs trends, bet mazajās upēs negatīvs trends (4. pielikums). Daugavā novērojams pozitīvs trends visos mēnešos, tomēr tikai vienā gadījumā (Daugavas – Piedrujas HNS) augustā novērojams statistiski ticams pieaugums. Latvijas ziemeļdaļā Salacā un Gaujā parādās gan pozitīvs, gan negatīvs trends – pozitīvs trends novērojams perioda sākumā maijā, jūnijā, vasaras beigās augustā, kā arī oktobrī. Attiecīgi negatīvs trends galvenokārt – jūlijā un septembrī. Taču arī tikai vienā stacijā Salacā – Mazsalacā novērojams statistiski ticams pozitīvs trends maijā. Lielupē un Ventā lielākajā daļā gadījumu novērojams pozitīvs trends (Lielupē pie Mežotnes un Slokas statistiski ticams maijā), taču atsevišķos gadījumos jūlijā un septembrī novērojams negatīvs trends. Latvijas austrumdaļā mazajās un vidējās upēs novērojams gan negatīvs, gan pozitīvs trends. Negatīvs trends galvenokārt saistīts ar jūnija, jūlija un septembra mēnešiem (Pededzes – Litenes HNS gadījumā jūnijā trends ir statistiski ticams), savukārt tikai Dubnā – Višķu HNS maijā un oktobrī vērojams statistiski ticams pozitīvs trends. Latvijas ziemeļdaļas mazajās upēs novērojams lielākoties negatīvs trends visos mēnešos (Vaidavā – Apes HNS statistiski ticams vasaras mēnešos). Latvijas centrālās daļas mazajās upēs novērojams pozitīvs trends pavasara beigās un vasarā, bet rudens sākumā atsevišķos gadījumos parādās arī negatīvs trends. Taču, tikai Mūsā pie Bauskas maijā novērojams statistiski ticams pozitīvs trends un Bērzē pie Baložiem statistiski ticams negatīvs trends jūnijā. Piejūras mazajās upēs negatīvs trends saistāms ar jūnija, jūlija, augusta un septembra mēnešiem, taču tikai

divos gadījumos: Rīvas – Pievīķu HNS jūnijā un Bārtā – Dūkupju HNS septembrī trends ir statistiski ticams.

Salīdzinot katra mēneša (no maija līdz oktobrim) ilggadīgi vidējās ūdens temperatūras par periodu no 1988. – 2000. gadam un periodu no 1945. – 1987. gadam, redzams, ka lielākajā daļā gadījumu periodā no 1988. – 2000. gadam mēnešu ilggadīgi vidējās ūdens temperatūras ir nedaudz augstākas, kā periodā no 1945. – 1987. gadam (3.14. tab.). Lielākās izmaiņas saistītas ar maija mēnesi, kurā lielajās upēs ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra maija mēnesī ir palielinājusies par 0,3 – 1,2 °C. Vislielākais pieaugums novērojams Latvijas ziemeļdaļā Salacā, kur posmā Mazsalaca – Lagaste ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra maijā palielinājusies par 0,9 – 1,2 °C. Taču, tajā pašā laikā Gaujā un arī Aiviekstē, pieaugums ir robežās no 0,3 – 0,6 °C. Būtiskas atšķirības nav novērojamas starp Daugavu, Lielupi un Ventu, kur pieaugums ir no 0,5 – 1,0 °C. Mazajās un vidējās upēs būtiskas reģionālas atšķirības nav novērojamas un ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra maijā periodā no 1988. – 2000. gadam vidēji ir palielinājusies par 0,1 – 0,7 °C, izņemot Dubnas – Višķu HNS un Ogres – Lielpēču HNS, kur temperatūra palielinājusies attiecīgi par 1,0 un 0,9 °C. Tāpat jāatzīmē, ka divos gadījumos: Pededzes – Litenes HNS un Vaidavas – Apes HNS vērojama arī neliela ūdens temperatūras pazemināšanās. Līdzīgas izmaiņu tendences ilggadīgi vidējā ūdens temperatūrā vērojamas arī jūlija mēnesī, taču temperatūras izmaiņas nepārsniedz 1 °C. Vismazākās izmaiņas saistītas ar septembra un oktobra mēnešiem.

## Ilggadīgi vidējās mēneša ūdens temperatūras (°C) periodā no 1945. – 1987. gadam un periodā no 1988. – 2000. gadam

HNS	1945 - 1987						1988 - 2000						Izmaiņas					
	Mai	Jūn	Jūl	Aug	Sep	Okt	Mai	Jūn	Jūl	Aug	Sep	Okt	Mai	Jūn	Jūl	Aug	Sep	Okt
Daugava-Piedruja	13,5	18,6	19,9	18,8	13,6	7,2	14,2	18,9	20,7	19,3	13,8	7,6	0,7	0,3	0,8	0,5	0,2	0,4
Daugava-Krāslava	13,5	18,6	20,0	18,9	13,7	7,3	14,5	18,9	20,9	19,4	13,9	7,6	1,0	0,3	0,9	0,5	0,2	0,3
Daugava-Daugavpils	13,3	18,4	19,8	18,8	13,6	7,4	14,1	18,8	20,4	19,0	13,6	7,8	0,8	0,4	0,6	0,2	0,0	0,4
Daugava-Vaikuļāni	13,4	18,4	19,9	18,9	13,6	7,3	14,1	18,8	20,6	19,2	13,8	7,7	0,7	0,4	0,6	0,3	0,2	0,4
Daugava-Jēkabpils	13,2	18,2	19,8	18,9	13,8	7,5	14,1	18,9	20,7	19,5	14,1	8,0	1,0	0,6	0,9	0,6	0,3	0,5
Aiviekste-Lubāna	13,1	18,1	19,5	18,0	12,7	7,0	13,4	18,0	19,6	18,2	12,6	6,6	0,3	-0,1	0,2	0,2	0,0	-0,4
Aiviekste-Aiviekstes HES	13,3	18,4	19,6	18,3	12,9	7,1	13,6	18,2	19,9	18,4	12,8	6,8	0,3	-0,1	0,3	0,0	-0,1	-0,2
Gauja-Velēna	12,3	16,6	17,8	16,6	11,8	6,7	12,7	16,8	18,1	16,3	11,4	6,2	0,3	0,2	0,2	-0,2	-0,4	-0,5
Gauja-Valmiera	12,4	17,3	18,9	17,6	12,3	6,7	12,9	17,5	19,2	17,7	12,2	6,7	0,6	0,2	0,3	0,1	-0,1	0,1
Gauja-Sigulda	12,2	16,8	18,2	16,9	12,1	6,9	12,7	17,0	18,5	17,1	12,1	6,9	0,5	0,3	0,3	0,2	-0,1	0,1
Salaca-Lagaste	12,3	17,8	19,4	18,1	13,1	7,3	13,2	18,0	19,9	18,2	13,0	7,4	0,9	0,2	0,4	0,1	0,0	0,1
Salaca-Mazsalaca	12,3	18,1	19,6	18,4	13,3	7,3	13,6	18,8	20,5	19,0	13,6	7,4	1,2	0,7	0,9	0,5	0,3	0,1
Lielupe-Mežotne	13,8	18,6	19,9	18,7	13,5	7,6	14,3	19,1	20,6	19,1	13,8	7,9	0,5	0,5	0,6	0,4	0,3	0,3
Lielupe-Staļģene	13,8	18,8	20,2	19,0	13,9	7,8	14,6	19,7	20,9	19,8	14,3	7,8	0,8	0,9	0,7	0,8	0,4	0,0
Lielupe-Jelgava	14,0	18,9	20,5	19,4	14,4	8,2	14,9	19,6	21,3	20,3	14,9	8,5	0,9	0,7	0,8	0,9	0,5	0,3
Lielupe-Sloka (Jūrmala)	13,4	18,0	19,7	19,1	14,7	8,8	14,2	18,7	20,1	19,5	14,8	9,0	0,8	0,7	0,4	0,4	0,1	0,2
Venta-Vārdava	13,6	18,1	19,4	18,4	13,9	8,2	14,5	18,4	20,2	19,3	13,9	8,5	0,8	0,3	0,7	0,8	0,0	0,3
Venta-Kuldīga	13,2	17,8	19,3	18,1	13,5	8,1	13,8	18,2	20,0	18,8	13,7	8,1	0,6	0,4	0,7	0,7	0,2	0,0
Venta-Vendzava	13,1	18,0	19,4	18,3	13,1	8,2	13,9	18,3	20,2	19,1	13,9	8,5	0,8	0,3	0,8	0,8	0,8	0,3
Dubna-Višķi	13,3	18,6	20,2	19,1	13,7	7,4	14,3	19,4	20,9	19,6	14,1	7,9	1,0	0,8	0,7	0,5	0,4	0,5
Dubna-Sīļi	13,5	18,4	19,7	18,5	13,3	7,1	14,1	18,7	19,9	18,5	13,3	7,4	0,6	0,3	0,2	0,1	0,0	0,3
Pededze-Litene	11,9	16,9	18,1	16,9	11,7	6,0	11,7	16,1	17,8	16,4	11,2	6,1	-0,2	-0,8	-0,3	-0,5	-0,5	0,1

3.14. tabulas turpinājums

HNS	1945 - 1987						1988 - 2000						Izmaiņas					
	Mai	Jūn	Jūl	Aug	Sep	Okt	Mai	Jūn	Jūl	Aug	Sep	Okt	Mai	Jūn	Jūl	Aug	Sep	Okt
Rēzekne-Griškāni	13,4	18,2	19,3	18,0	12,6	6,6	13,8	18,3	19,7	18,0	12,6	6,8	0,5	0,1	0,4	0,1	0,0	0,2
Ogre-Lielpēči	12,8	18,1	19,3	18,0	12,7	6,8	13,7	18,1	19,5	18,6	13,3	7,5	0,9	0,0	0,2	0,6	0,6	0,7
Lielā Jugla-Zaķi	12,4	17,3	18,7	17,4	12,4	6,9	12,7	17,1	18,6	17,3	12,4	7,1	0,3	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,2
Tirza-Lejasciems	11,5	16,2	17,4	16,1	11,3	6,1	11,7	16,1	17,9	16,4	11,5	6,0	0,2	-0,1	0,5	0,3	0,2	-0,1
Vaidava-Ape	11,1	14,8	15,8	14,6	10,5	6,2	10,8	14,3	15,4	13,9	9,9	5,8	-0,3	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-0,4
Amata-Melturi	10,0	13,9	15,0	13,9	10,1	6,0	10,4	14,1	15,3	13,9	10,2	5,9	0,4	0,2	0,4	0,0	0,1	-0,1
Mūsa-Bauska	14,2	18,8	20,1	18,8	13,7	7,7	14,9	19,4	20,5	18,9	13,8	7,8	0,7	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1
Svēte-Ūziņi	13,0	16,9	18,0	17,0	12,7	7,6	13,6	17,3	18,8	17,5	12,7	7,6	0,6	0,5	0,8	0,4	0,1	0,0
Bērze-Baloži	12,9	17,2	18,2	17,1	12,5	7,6	13,0	16,9	18,7	17,8	12,7	7,5	0,1	-0,3	0,4	0,7	0,2	0,0
Irbe-Vičaki	11,9	16,6	18,1	17,0	12,7	7,7	12,5	17,1	18,8	17,6	12,9	7,9	0,6	0,4	0,7	0,6	0,2	0,2
Užava-Tērande	11,9	16,0	17,2	16,4	12,3	7,4	12,3	16,5	17,7	16,7	12,1	7,8	0,4	0,5	0,5	0,4	-0,1	0,4
Rīva-Pievīķi	12,4	16,5	17,7	16,5	12,1	7,5	12,5	16,4	17,8	16,6	11,8	7,3	0,1	-0,1	0,1	0,0	-0,3	-0,1
Bārta-Dūkupji	13,1	17,6	19,0	17,7	13,2	8,1	13,1	17,2	18,9	17,9	12,9	8,0	0,0	-0,4	-0,1	0,1	-0,3	-0,1
Abava-Renda	12,6	17,1	18,2	17,2	12,5	7,5	12,8	16,6	18,6	17,4	12,3	7,2	0,3	-0,5	0,4	0,2	-0,2	-0,3

### 3.2.2. Gada maksimālā ūdens temperatūra

Ilggadīgi vidējā maksimālā ūdens temperatūra lielajām upēm svārstās robežās no 22,7 °C Gaujas – Velēnas HNS līdz 25,7 °C Lielupes – Mežotnes HNS, bet mazajām upēm no 20,1 °C Vaidavas – Apes HNS līdz 25,8 °C Mūsas – Bauskas HNS (3.15. tab.). Ilggadīgi maksimālajai zemākajai ūdens temperatūrai nav būtisku atšķirību starp lielajām un mazajām upēm un tā svārstās robežās no 18,7 – 22,4 °C, izņemot Gaujas baseina mazās upes, kur tā svārstās no 16,7 – 17,4 °C (3.15. tab.).

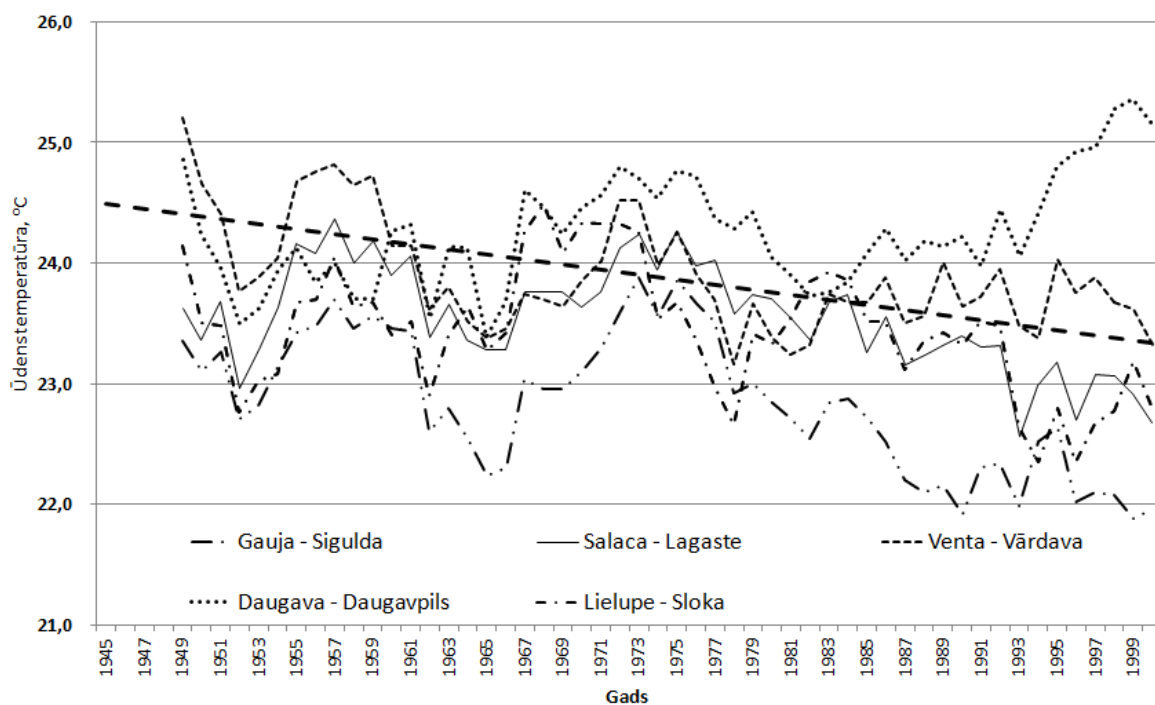
Visaugstākā ilggadīgā maksimālā ūdens temperatūra novērojama Lielupē posmā Mežotne – Jelgava attiecīgi 29,0 – 29,8 °C. Robežās no 26,2 – 27,8 °C ilggadīgā maksimālā ūdens temperatūra vērojama Daugavā posmā Piedruja – Jēkabpils un tikai nedaudz zemāka Ventā posmā Vārdava – Vendzava (25,8 – 27,4 °C), Salacā (26,4 – 26,8 °C) un Gaujā posmā Velēna – Sigulda (25,2 – 26,0 °C). Latvijas mazajās un vidējās upēs augstākā ilggadīgi maksimālā ūdens temperatūra ir Daugavas baseina mazajās upēs (26,4 – 28,5 °C) un Lielupes baseina mazajās upēs (24,8 – 28,8 °C). 25,2 – 26,7 °C robežās ilggadīgā maksimālā ūdens temperatūra vērojama Gaujas baseina mazajās upēs, kā arī Baltijas jūras piekrastes mazajās upēs (3.15. tab.).

3.15. tabula

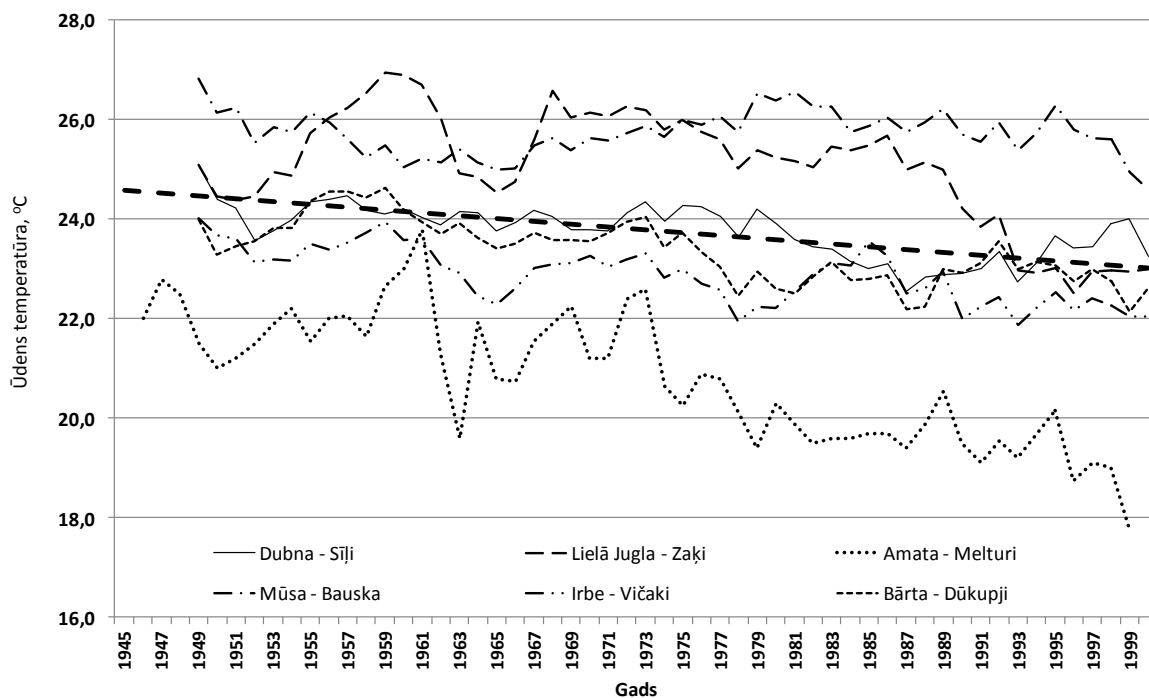
Ilggadīgi maksimālā ūdens temperatūra (°C) pētījuma periodā no 1945. – 2000. gadam

HNS	Periods	Vid	Min	Max	HNS	Periods	Vid	Min	Max
Daugava-Piedruja	1945-2000	24,6	20,2	27,8	Dubna-Višķi	1945-2000	25,3	22,0	28,2
Daugava-Krāslava	1945-1999	23,9	19,8	26,2	Dubna-Sīļi	1945-2000	23,8	21,1	26,4
Daugava-Daugavpils	1945-2000	24,3	20,1	26,2	Pededze-Litene	1960-2000	22,1	19,4	24,8
Daugava-Vaikuļāni	1946-2000	24,2	20,0	26,3	Rēzekne-Griškāni	1945-2000	24,5	21,1	28,4
Daugava-Jēkabpils	1945-2000	23,8	19,6	26,8	Ogre-Lielpēči	1945-2000	25,0	21,2	27,8
Aiviekste-Lubāna	1945-2000	24,1	21,0	27,6	Lielā Jugla-Zaķi	1945-2000	25,0	21,1	28,5
Aiviekste-Aiviekstes HES	1952-2000	24,1	20,8	27,5	Tirza-Lejasciems	1946-2000	22,0	17,2	26,4
Gauja-Valmiera	1945-2000	23,4	20,0	26,0	Vaidava-Ape	1951-2000	20,1	16,7	25,0
Gauja-Sigulda	1945-2000	22,9	19,7	25,6	Amata-Melturi	1946-1999	20,8	17,4	25,2
Gauja-Velēna	1958-2000	22,7	20,2	25,2	Mūsa-Bauska	1945-2000	25,8	22,6	28,8
Salaca-Lagaste	1945-2000	23,5	20,8	26,4	Svēte-Ūziņi	1948-2000	22,7	19,6	26,3
Salaca-Mazsalaca	1951-2000	24,2	21,0	26,8	Bērze-Baloži	1961-2000	22,0	19,2	24,8
Lielupe-Mežotne	1945-2000	25,7	22,4	29,6	Abava-Renda	1964-2000	22,2	19,8	26,7
Lielupe-Stalģene	1945-1999	25,1	22,0	29,8	Irbe-Vičaki	1946-2000	22,9	19,6	25,2
Lielupe-Jelgava	1945-2000	24,7	20,8	29,0	Užava-Tērande	1947-2000	22,6	18,7	25,3
Lielupe-Sloka	1945-2000	23,5	20,0	25,7	Rīva-Pievīķi	1963-2000	22,9	20,4	25,4
Venta-Vārdava	1946-2000	23,9	21,0	26,9	Bārta-Dūkupji	1949-2000	23,3	19,8	25,7
Venta-Kuldīga	1948-2000	24,6	21,1	27,4					
Venta-Vendzava	1949-2000	23,5	20,9	25,8					

Gada maksimālās ūdens temperatūras trendi periodā no 1945. – 2000. gadam redzami 3.12. un 3.13. attēlā.



3.12. att. Ilggadīgi maksimālās ūdens temperatūras trendi periodā no 1945. – 2000. gadam Latvijas lielo upju piemērā. Ūdens temperatūras dati izlīdzināti, izmantojot 5 gadu slidošo vidējo vērtību. Pārtrauktā līnija – mainības tendence



3.13. att. Ilggadīgi maksimālās ūdens temperatūras trendi periodā no 1945. – 2000. gadam Latvijas vidējo un mazo upju piemērā. Ūdens temperatūras dati izlīdzināti, izmantojot 5 gadu slidošo vidējo vērtību. Pārtrauktā līnija – mainības tendence

Analizējot gada maksimālās ūdens temperatūras ilgtermiņa izmaiņas pēc Mann-Kendall testa rezultātiem, iegūts galvenokārt statistiski ticams negatīvs trends (61,1 % gadījumu trends ir statistiski ticams pie  $p < 0,05$ ), bet 25 % gadījumu iegūts negatīvs trends (3.16. tab.). Statistiski ticama maksimālās ūdens temperatūras pazemināšanās vērojama Gaujā posmā Velēna – Sigulda un Aiviekstē posmā Lubāna – Aiviekstes HES, Lielupē pie Mežotnes un Ventā posmā Vārdava – Kuldīga. Attiecībā uz mazajām un vidējām upēm, tad statistiski ticams negatīvs trends vērojams Daugavas un Gaujas baseina mazajās upēs, kā arī Baltijas jūras piekrastes mazajās upēs un Lielupes baseina mazajās upēs Svētē un Bērzē (3.16. tab.).

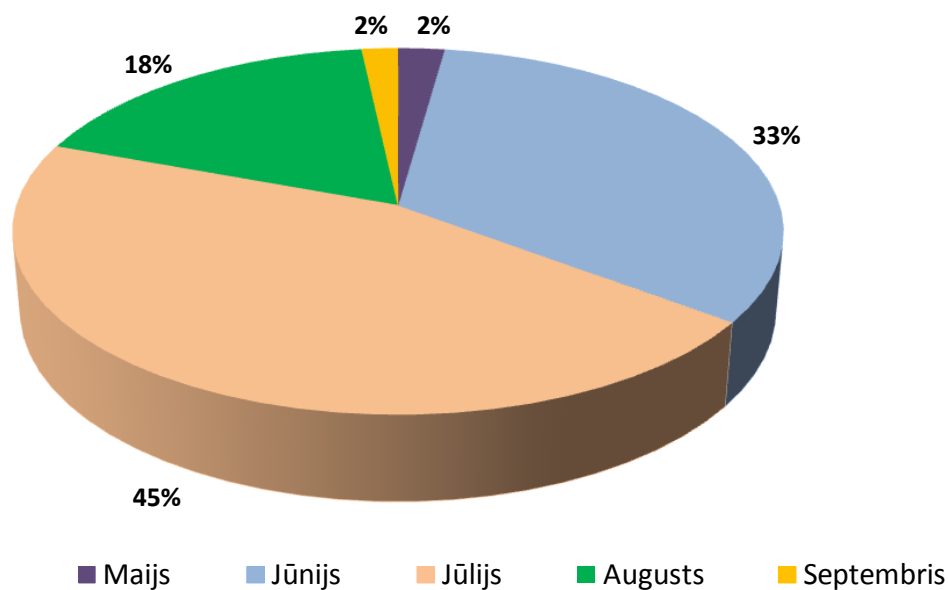
3.16. tabula

**Mann-Kendall testa rezultāti ilggadīgi maksimālai ūdens temperatūrai**

HNS	Maksimālā temperatūra		HNS	Maksimālā temperatūra	
	Testa vērtība	p- vērtība		Testa vērtība	p- vērtība
Daugava-Piedruja	-0,87	0,38	Venta-Vendzava	-0,17	0,87
Daugava-Krāslava	-0,65	0,52	Dubna-Višķi	0,15	0,88
Daugava-Daugavpils	0,52	0,61	Dubna-Sīļi	<b>-2,8</b>	0,01
Daugava-Vaikuļāni	-1,12	0,26	Pededze-Litene	<b>-3,79</b>	<0,001
Daugava-Jēkabpils	0,18	0,86	Rēzekne-Griškāni	<b>-2,42</b>	0,02
Aiviekste-Lubāna	<b>-3,29</b>	<0,001	Ogre-Lielpēči	<b>-3,09</b>	<0,001
Aiviekste-Aiviekstes HES	<b>-3,32</b>	<0,001	Lielā Jugla-Zaķi	<b>-2,78</b>	0,01
Gauja-Valmiera	<b>-2,16</b>	0,03	Tirza-Lejasciems	<b>-5,53</b>	<0,001
Gauja-Sigulda	<b>-2,48</b>	0,01	Vaidava-Ape	<b>-4,36</b>	<0,001
Gauja-Velēna	<b>-2,74</b>	0,01	Amata-Melturi	<b>-4,64</b>	<0,001
Salaca-Lagaste	-1,25	0,21	Mūsa-Bauska	-0,49	0,63
Salaca-Mazsalaca	-1,31	0,19	Svēte-Ūziņi	<b>-3,03</b>	<0,001
Lielupe-Mežotne	<b>-3,15</b>	<0,001	Bērze-Baloži	<b>-2,17</b>	0,03
Lielupe-Staļģene	-1,87	0,06	Abava-Renda	0,15	0,88
Lielupe-Jelgava	0,42	0,68	Irbe-Vičaki	<b>-2,54</b>	0,01
Lielupe-Sloka	-1,33	0,18	Užava-Tērande	<b>-3,32</b>	<0,001
Venta-Vārdava	<b>-1,96</b>	0,05	Rīva-Pievīķi	<b>-2,78</b>	0,01
Venta-Kuldīga	<b>-2,66</b>	0,01	Bārta-Dūkupji	<b>-2,57</b>	0,01

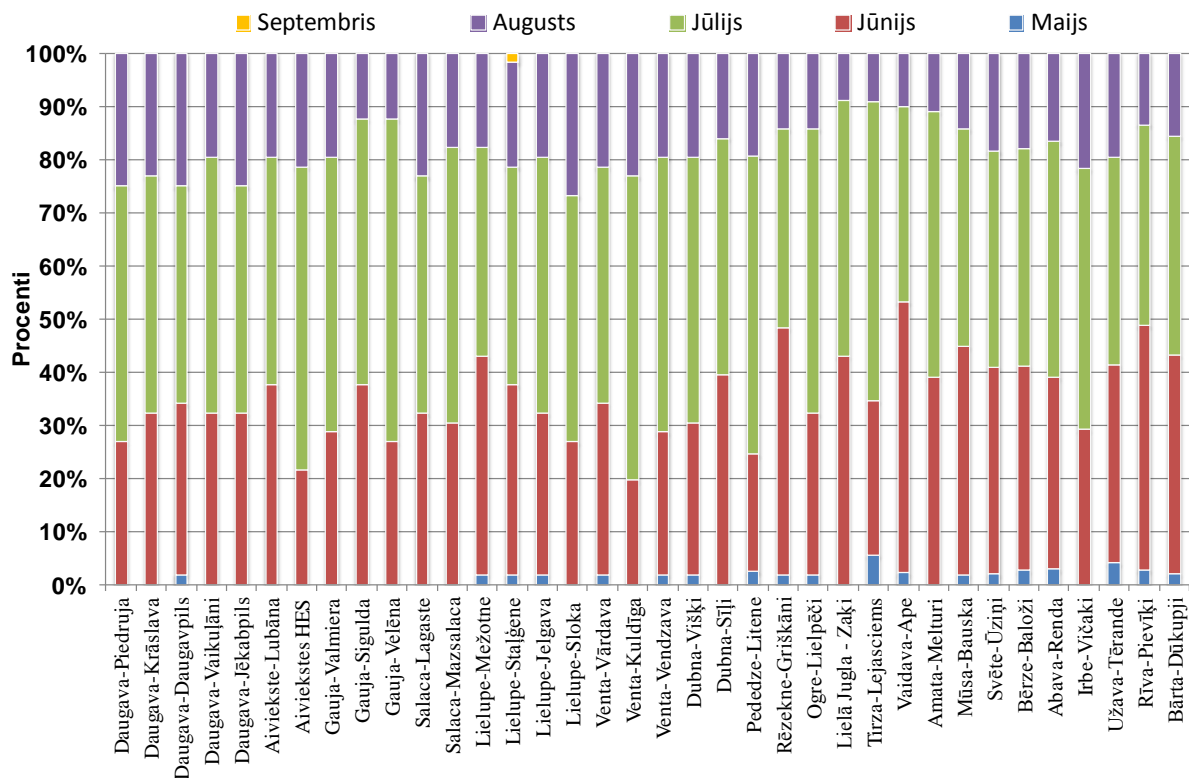
*treknrakstā – statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$*

Attiecībā uz laiku, kad Latvijas upēs novērojama visaugstākā ūdens temperatūra, tad redzams, ka lielākajā daļā gadījumu tā novērojama vasaras vidū – jūlijā (3.14. att.).



3.14. att. Maksimālās ūdens temperatūras novērošanas laiks procentos pa mēnešiem

No Latvijas lielajām upēm visbiežāk jeb vairāk nekā 50 % gadījumu augstākā ūdens temperatūra jūlijā novērojama galvenokārt Gaujā posmā Velēna – Sigulda, Aiviekstē – Aiviekstes HES HNS, kā arī Ventā posmā Kuldīga – Venzava. Pārējās Latvijas lielajās upēs augstākā ūdens temperatūra jūlijā novērojama 39,3 – 48,2 % gadījumu (3.15. att.). Ap 30 – 40 % gadījumu Latvijas lielajās upēs augstākā ūdens temperatūra vērojama jūnija mēnesī, kam seko augusts ar 12,5 – 26,8 % gadījumu (3.15. att.). Nelielā skaitā gadījumu (1,8 %) atsevišķos gados augstākā ūdens temperatūra Lielupē novērojama jau maijā vai tikai septembrī. Tāpat kā lielajās upēs, arī vidējās un mazajās Latvijas upēs visbiežāk augstākā ūdens temperatūra novērojama jūlija mēnesī. Visbiežāk (> 50 % gadījumu) jūlijā augstākā temperatūra novērojama Daugavas baseina mazajām upēm – Dubnā – Višķu HNS, Pededzes Litenes HNS, Ogres – Lielpēču HNS, kā arī Gaujas baseina mazajās upēs – Tirzā – Lejasciema HNS un Amatas – Melturu HNS. Pārējās vidējās un mazajās upēs jūlijā augstākā ūdens temperatūra ir 36,7 – 49,1 % gadījumu. Atsevišķās upēs, kā, piemēram, Vaidavā – Apes HNS augstāka ūdens temperatūra daudz biežāk novērojama jau jūnija mēnesī. Savukārt Mūsā – Bauskas HNS, Lielās Juglas – Zaķu HNS, Užavas – Tērandes, kā arī Bārtas – Dūkupju HNS augstāko ūdens temperatūru novērojumu sadalījums jūnija un jūlija mēnešos ir gandrīz vienāds. Gadījumi, kad augstākā ūdens temperatūra tiek novērota augusta mēnesī, veido 8,9 – 21,8 %. Augustā visretāk maksimālā temperatūra tiek novērota Lielās Juglas – Zaķu HNS, kā arī Tirzā – Lejasciema HNS (< 10 % gadījumu). Savukārt visbiežāk augustā maksimālā temperatūra tiek novērota Irbes – Vičaku HNS (> 20 % gadījumu). Mazajās un vidējās Latvijas upēs daudz biežāk nekā lielajās upēs novērojami gadījumi, kad augstākā ūdens temperatūra bijusi novērota jau maija mēnesī.



3.15. att. Maksimālās ūdens temperatūras novērošanas laika procentuālais sadalījums hidroloģiskajās novērojamajās stacijās

### 3.2.3. Ūdens un gaisa temperatūras kopsakarību analīze

Pētījumā tika aprēķināta gaisa temperatūras un ūdens temperatūras kopsakarību korelācija. Ilggadīgi vidējās ūdens temperatūras gadījumā korelācija ir pozitīva un statistiski ticama, t.i., pieaugot ilggadīgi vidējai gaisa temperatūrai, paaugstinās arī ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra upēs (3.17. tab.). Savukārt ilggadīgi maksimālās ūdens temperatūras gadījumā statistiski ticama korelācija nav novērojama.

**Ilggadīgi vidējās un maksimālās ūdens temperatūras un ilggadīgi vidējās gaisa temperatūras korelācija**

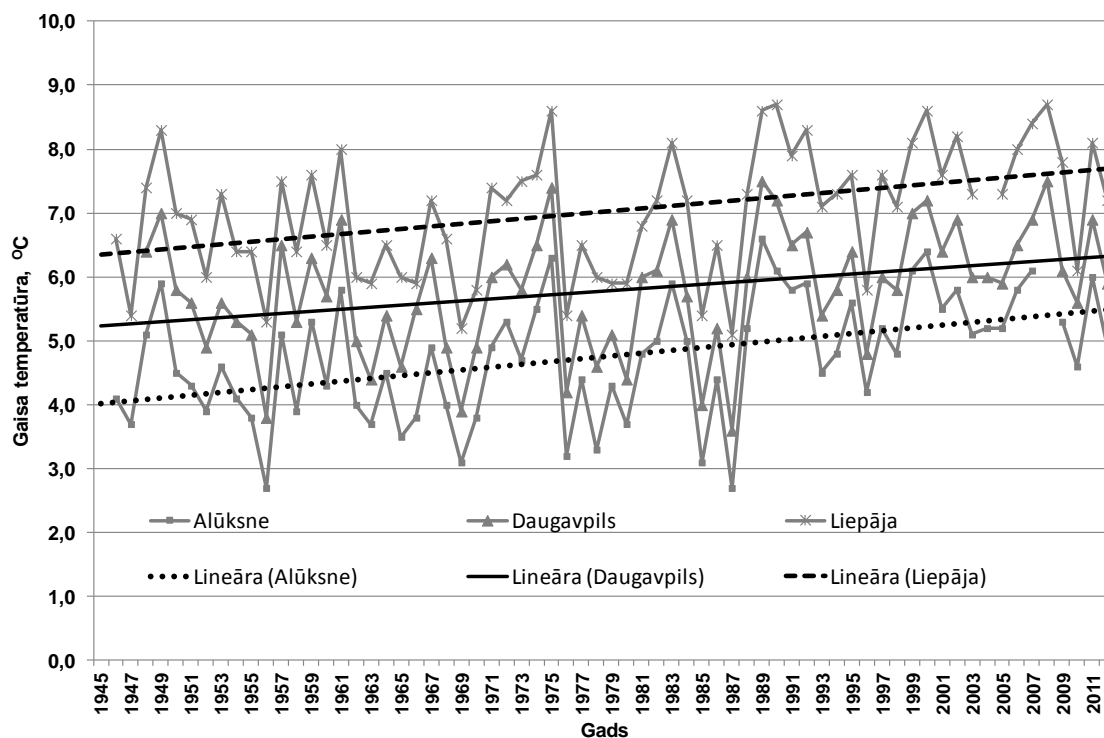
HNS	Ilgg. max temperatūra	Ilgg. vid temperatūra
	Kor. koef.	Kor. koef.
Daugava - Piedruja	0,074	0,517**
Daugava - Daugavpils	0,202	0,455**
Daugava - Jēkabpils	0,107	0,579**
Daugava - Krāslava	0,126	0,541**
Daugava - Vaikuļāni	0,135	0,599**
Dubna - Sīļi	-0,034	0,486**
Aiviekste - Lubāna	-0,141	0,354**
Aiviekste - Aiviekstes HES	-0,084	0,419**
Rēzekne - Griškāni	0,017	0,496**
Pededze - Litene	-0,078	0,329
Ogre - Lielpēči	0,145	0,457**
Lielā Jugla - Zaķi	0,127	0,333
Gauja - Velēna	-0,038	0,312*
Gauja - Valmiera	0,075	0,468**
Gauja - Sigulda	0,005	0,494**
Amata - Melturi	-0,011	0,488**
Vaidava - Ape	-0,124	0,152
Tirza - Lejasciems	-0,117	0,391**
Lielupe - Mežotne	0,058	0,493**
Lielupe - Jelgava	0,137	0,517**
Lielupe - Sloka	-0,003	0,476**
Lielupe - Staļģene	0,051	0,612**
Svēte - Ūziņi	-0,001	0,446**
Mūsa - Bauska	0,070	0,463**
Bērze - Baloži	0,104	0,421**
Salaca - Lagaste	0,049	0,539**
Salaca - Mazsalaca	0,056	0,598**
Venta - Vārdava	0,084	0,462**
Venta - Kuldīga	0,075	0,500**
Venta - Vendzava	0,170	0,632**
Abava - Renda	0,377*	0,303
Irbe - Vičaki	-0,003	0,509**
Užava - Tērande	0,016	0,431**
Rīva - Pievīķi	0,002	0,341**
Bārta - Dūkupji	0,134	0,379**

\*\* statistiski būtisks pie  $p < 0,01$ ; \* statistiski būtisks pie  $p < 0,05$

### 3.3. Upju ledus režīma izmaiņas

#### 3.3.1. Ledus režīma parametru un gaisa temperatūras kopsakarību analīze

Lai novērtētu sākotnējās ledus režīma izmaiņas izmantots pētījuma periods no 1945. – 2012. gadam, ietverot ledus parādību tendences attiecībā uz ledus segas izveidošanos un uzlūšanu, ziemas bardzības indeksu, kā arī reģionālās atšķirības rietumu – austrumu virzienā. Šis 68 gadu ilga pētījuma periods uzrāda tendenci saistībā ar ledus sezonas samazināšanos, kas saistīts ar krasākām klimata pārmaiņām 20. gadsimta beigās. Tā kā gaisa temperatūra ir viens no galvenajiem faktoriem, kas ietekmē ledus režīma izmaiņas, tika analizēta gada vidējā gaisa temperatūra un negatīvo gaisa temperatūru summa no 1945. līdz 2012. gadam. Rezultāti parādīja, ka gada vidējā gaisa temperatūra pieaugusi vidēji par 1,0 – 1,2 °C (3.16. att.). Pēc L. Lizumas (2008) pētījuma rezultātiem būtiski ir paaugstinājušās gan gada vidējās temperatūras, gan arī vidējās minimālās un vidējās maksimālās gaisa temperatūras. Visbūtiskākais vidējās gaisa temperatūras pieaugums vērojams tieši ziemā un pavasarī, lai gan pieaugums vasarā un rudenī, kaut arī nav tik liels, tomēr arī ir statistiski ticams (Lizuma, 2008). Gaisa temperatūras pieaugums ziemas sezonā tieši ietekmē arī ledus režīmu Latvijas upēs.



3.16. att. Gada vidējās gaisa temperatūras mainība laika posmā no 1945. – 2012. gadam Alūksnē, Daugavpilī un Liepājā. Melnās līnijas – mainības tendences

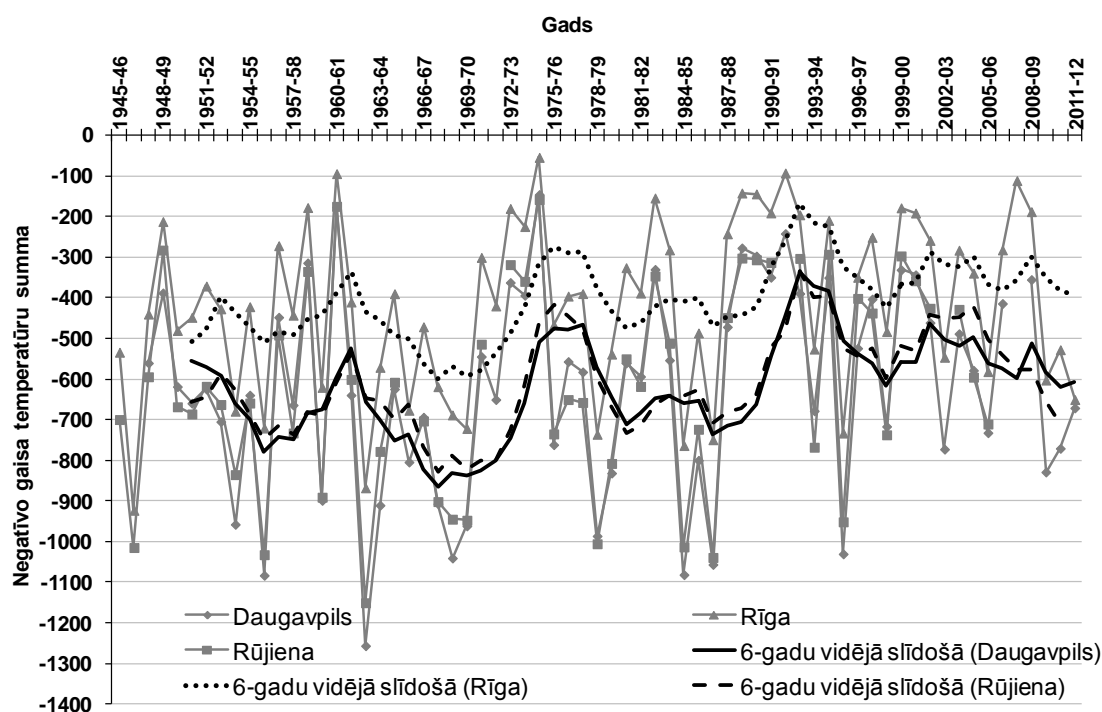
Arī Mann-Kendall testa rezultāti uzrāda statistiski ticamu temperatūras pieaugumu visās meteoroloģisko novērojumu stacijās (3.18. tab.).

Mann-Kendall testa rezultāti par gada vidējās gaisa temperatūras izmaiņu tendencēm novērojumu stacijās laika periodā no 1945. – 2012. gadam

Novērojumu stacija	Novērojumu skaits	Testa vērtība	p - vērtība
<i>Ainaži</i>	65	<b>3,23</b>	0,01
<i>Alūksne</i>	66	<b>3,59</b>	< 0,001
<i>Bauska</i>	66	<b>3,60</b>	< 0,001
<i>Daugavpils</i>	65	<b>2,53</b>	0,01
<i>Rīga - LU</i>	39	<b>2,14</b>	0,03
<i>Gulbene</i>	66	<b>3,83</b>	< 0,001
<i>Jelgava</i>	68	<b>2,84</b>	0,05
<i>Liepāja</i>	66	<b>3,13</b>	< 0,001
<i>Priekule</i>	68	<b>4,05</b>	< 0,001
<i>Rēzekne</i>	61	<b>2,80</b>	0,01
<i>Rūjiena</i>	68	<b>3,85</b>	< 0,001
<i>Stende</i>	65	<b>2,69</b>	0,01
<i>Zilāni</i>	63	<b>3,63</b>	< 0,001

*treknrakstā* – statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$

Tā kā gaisa temperatūra ir viens no galvenajiem faktoriem, kas ietekmē ledus režīmu Latvijas upēs, aprēķināta arī negatīvo gaisa temperatūru summa (3.17. att.).



3.17. att. Gada negatīvo gaisa temperatūru summu izmaiņas laikposmā no 1945.-2012. gadam Daugavpils, Rūjienas un Rīgas meteoroloģisko novērojumu stacijās

Kā redzams 3.17. attēlā, tad negatīvo gaisa temperatūru summai ir tendence samazināties, kas saistīts ar globālo klimata pasiltināšanos pēdējās dekādēs. Analizējot negatīvo gaisa temperatūras summu un ledus režīma parametru saistību (3.19. tab.), konstatēta statistiski ticama korelācija lielākajā daļā HMS, izņemot vienu HMS Daugava – Krāslava korelācijā ar aizsalšanas datumu, trīs HMS (Lielā Jugla – Zaķi, Lielupe – Kalnciems, Daugava – Krāslava) korelācijā ar vidējo ledus biežumu un divām HMS (Mazā Jugla – Stariņi, Daugava – Krāslava) korelācijā ar maksimālo ledus biežumu. Negatīvo gaisa temperatūru summa uzrāda pozitīvu korelāciju ar ledus segas izveidošanās datumu. Ledus segas uzlūšanas datumam un ledstāves ilgumam ir negatīva korelācija ar absolūto negatīvo gaisa temperatūras summu, kas ir statistiski nozīmīga visām pētījumā aplūkotajām upēm. Arī ledus biežumam ir negatīva korelācija ar absolūto negatīvo gaisa temperatūru summu.

3.19. tabula

**Korelācija starp negatīvo gaisa temperatūras summu un ledus režīma parametriem**

HNS	Aizsalšana	Uzlūšana	Ledstāve	Vidējais ledus biežums	Maksimālais ledus biežums
	<i>Korelācijas koeficients</i>				
Daugava - Piedruja	0,275*	-0,632**	-0,606**	-0,673**	-0,454**
Daugava - Daugavpils	0,346**	-0,554**	-0,653**	-0,697**	-0,407**
Daugava - Jēkabpils	0,293*	-526**	-0,532**	-0,612**	-0,483**
Daugava - Krāslava	0,134	-0,378**	-0,528**	-,207	-0,177
Daugava - Vaikūļāni	0,324*	-0,608**	-0,682**	-0,660**	-0,669**
Daugava - Jersika	0,511**	-0,583**	-0,727**	-0,626**	-0,607**
Dubna - Sīļi	0,465**	-0,643**	-0,695**	-0,600**	-0,576**
Dubna - Višķi	0,249	-0,411**	-0,490**	-	-
Aiviekste - Lubāna	0,472**	-0,681**	-0,748**	-0,743**	-0,547**
Kuja - Aizkuja	0,417**	-0,652**	-0,742**	-0,425**	-0,603**
Rēzekne - Griškāni	0,357**	-0,647**	-0,593**	-0,617**	-0,696**
Balda - Dorotpoļe	0,346*	-0,618**	-0,643**	-0,601**	-0,337*
Ogre - Lielpēči	0,511**	-0,645**	-0,771**	-0,675**	-0,607**
Lielā Jugla - Zaķi	0,310*	-0,353**	-0,341**	-0,192	-0,278*
M.Jugla - Stariņi	0,467**	-0,569**	-0,717**	-0,528**	-0,199
Gauja - Tilderi	0,480**	-0,632**	-0,738**	-0,791**	-0,575**
Gauja - Velēna	0,487**	-0,626**	-0,783**	-0,660**	-0,466**
Gauja - Valmiera	0,427**	-0,499**	-0,684**	-0,439**	-0,274*
Gauja - Sigulda	0,503**	-0,703**	-0,737**	-0,706**	-0,550**
Gauja - Carnikava	0,420**	-0,657**	-0,718**	-0,554**	-0,525**
Vaidava - Ape	0,422**	-0,475**	-0,621**	-	-
Amata - Melturi	0,380**	-0,678**	-0,806**	-0,668**	-0,449**
Tirza - Lejasciems	0,268*	-0,680**	-0,638**	-	-
Tūlija - Zosēni	-	-	-	-0,513**	-0,429**
Lielupe - Mežotne	0,392**	-0,653**	-0,760**	-0,770**	-0,546**
Lielupe - Jelgava	0,396**	-0,263*	-0,496**	-0,637**	-0,532**
Lielupe - Kalnciems	0,377**	-0,651**	-0,745**	-0,023	-0,588**
Lielupe - Staļģene	0,380**	-0,603**	-0,702**	-0,761**	-0,475**
Iecava - Dupši	0,389**	-0,682**	-0,801**	-0,816**	-0,789**
Svēte - Ūziņi	0,330*	-0,604**	-0,778**	-0,812**	-0,725**
Mūsa - Bauska	0,336*	-0,653**	-0,738**	-0,744**	-0,724**

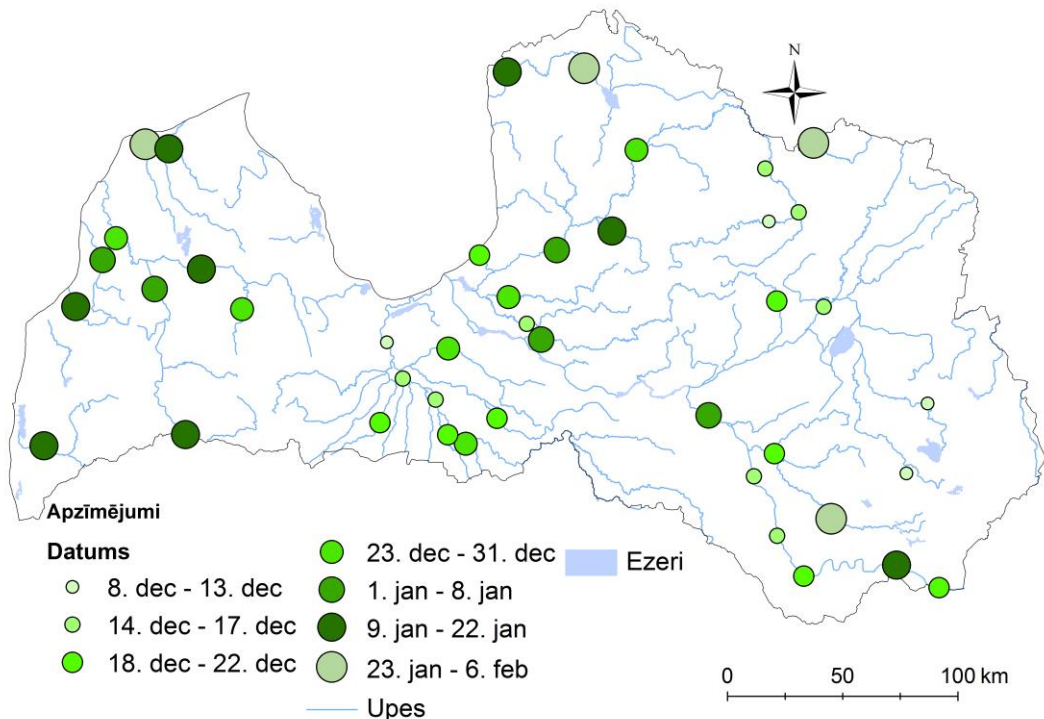
3.19.tabulas turpinājums

HNS	Aizsalšana	Uzlūšana	Ledstāve	Vidējais ledus biezums	Maksimālais ledus biezums
	Korelācijas koeficients				
Misa - Lielveisi	0,607**	-0,547**	-0,744**	-0,484**	-0,475**
Salaca - Lagaste	0,456**	-0,676**	-0,771**	-0,776**	-0,702**
Salaca - Mazsalaca	0,489**	-0,592**	-0,685**	-	-
Venta - Vārdava	0,517**	-0,693**	-0,777**	-0,680**	-0,721**
Venta - Kuldīga	0,297*	-0,624**	-0,758**	-0,607**	-0,549**
Venta - Vendzava	0,287*	-0,706**	-0,867**	-0,708**	-0,634**
Imula - Pilskalni	0,302*	-0,686**	-0,854**	-0,587**	-0,478**
Abava - Renda	0,345*	-0,635**	-0,775**	-	-
Irbe - Vičaki	0,660**	-0,747**	-0,847**	-0,687**	-0,557**
Stende - Ance	0,536**	-0,743**	-0,861**	-0,696**	-0,648**
Užava - Tērande	0,434**	-0,757**	-0,900**	-	-
Rīva - Pieviķi	0,642**	-0,772**	-0,886**	-0,644**	-0,846**
Bārta - Dūkupji	0,522**	-0,767**	-0,884**	-0,610**	-0,641**

\*\* statistiski būtisks pie  $p < 0,01$ ; \* statistiski būtisks pie  $p < 0,05$

### 3.3.2. Ledus segas izveidošanās

Kopumā Latvijas upēs stabilas ledus segas veidošanās vidēji ilgst no decembra sākuma Latvijas austrumu daļā līdz decembra beigām – janvāra sākumam Latvijas rietumu daļā (3.18. att.).

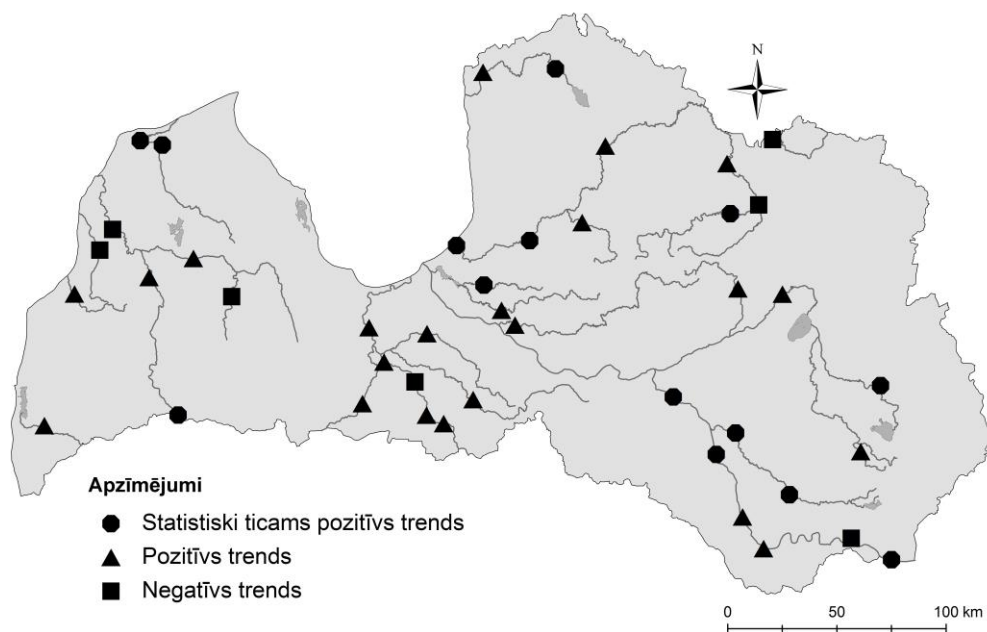


3.18. att. Latvijas upju vidējie ledus segas izveidošanās termiņi periodā no 1945. – 2012. gadam

Latvijas austrumdaļā Daugavā posmā Piedruja – Jersika un centrālajā daļā Lielupē posmā Mežotne – Staļģene ledus sega vidēji veidojas decembra otrās dekādes vidū līdz trešās dekādes beigām. Gaujas augšteces posmā Velēna – Tilderi decembra otrās dekādes sākums – vidus, bet vidusteces un lejteces posmā decembra trešās dekādes vidus – janvāra pirmās dekādes sākums. Arī Latvijas rietumdaļā Ventā ledus veidošanās vidēji notiek decembra trešās dekādes beigās līdz janvāra pirmās dekādes beigām. Savukārt Latvijas austrumdaļas mazajās upēs un Vidzemes augstienes rajonā vidējie ledus segas veidošanās datumi ir decembra pirmās dekādes beigas un otrās dekādes sākums līdz vidus, bet centrālajā daļā decembra otrās dekādes beigas līdz trešās dekādes vidus, atsevišķās upēs arī janvāra pirmā dekāde. Savukārt Latvijas rietumu daļā janvāra pirmās dekādes beigas – otrās dekādes sākums, atsevišķās upēs arī februāra pirmā dekāde (5. pielikums).

Pats labvēlīgākais periods, lai upēs veidotos ledus sega, ir decembra otrā dekāde (36,5 % gadījumu), kam seko decembra trešā dekāde un janvāra pirmā dekāde attiecīgi ar 29,5 % gadījumu, kā arī 4,5 % gadījumu februārī.

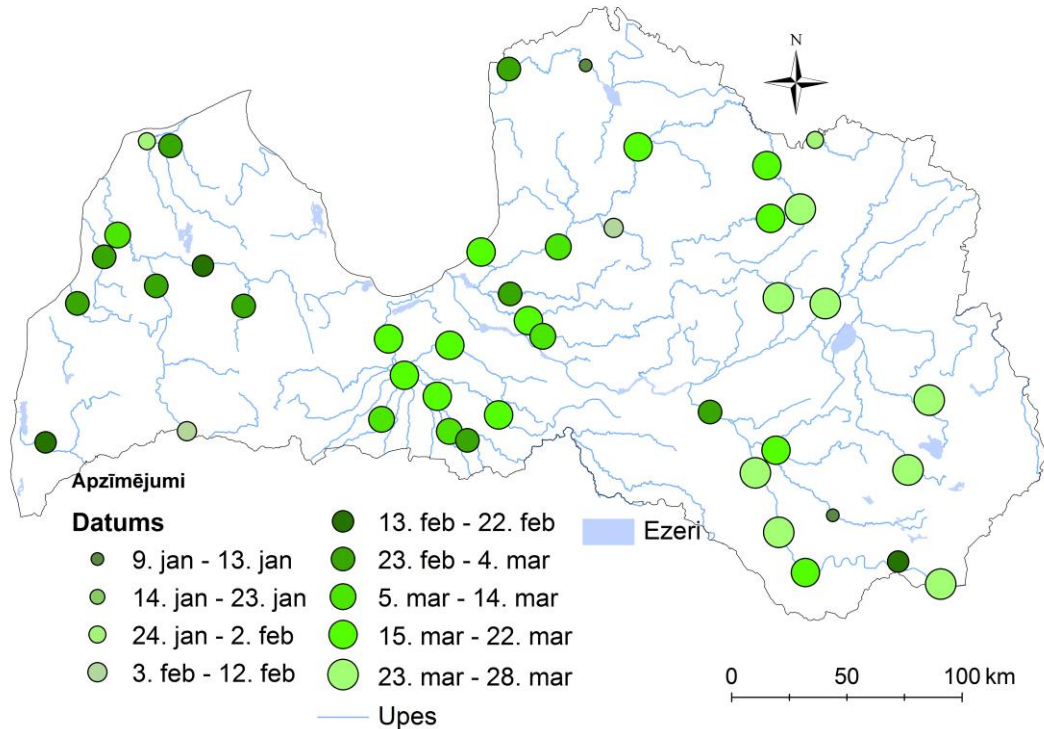
Aprēķinātais regresijas vienādojums ledus segas izveidošanās datumam norāda, ka periodā no 1945. – 2012. gadam katros 10 gados ledus segas izveidošanās notiek vidēji 2 – 6 dienas vēlāk Latvijas austrumu daļā, 1 – 5 dienas vēlāk centrālajā daļā un 3 – 7 dienas vēlāk Latvijas rietumu daļas upēs. Arī pielietotā Mann-Kendall testa rezultāti uzrāda (3.19. att.) pozitīvu tendenci ledus segas izveidošanās datumam – 32,6 % gadījumu trends ir statistiski ticams pozitīvs, 51,2 % gadījumu pozitīvs trends, bet 16,3 % gadījumu trends ir negatīvs (6. pielikums). Statistiski ticams pozitīvs trends novērojams galvenokārt Daugavā un atsevišķās Daugavas baseina mazajās upēs, piemēram, Dubnā, Rēzeknē un Lielajā Juglā. Tāpat statistiski ticams pozitīvs trends ledus segas izveidošanās datumam atsevišķās novērojumu stacijās vērojams Gaujā, Salacā un Ventā un atsevišķās piejūras baseina upēs. Pozitīvs trends saistāms galvenokārt ar Lielupes baseinu, Latgales mazajām upēm un piejūras baseina upēm.



3.19. att. Latvijas upju ledus segas izveidošanās tendenci periodā no 1945. – 2012. gadam

### 3.3.3. Ledus segas uzlūšana

Ledus uzlūšana Latvijas upēs vidēji notiek apmēram 4 nedēļās – no februāra trešās dekādes Latvijā rietumdaļā līdz marta trešajai dekādei austrumdaļā (3.20. att.).



3.20. att. Latvijas upju vidējie ledus segas uzlūšanas termiņi periodā no 1945. – 2012. gadam

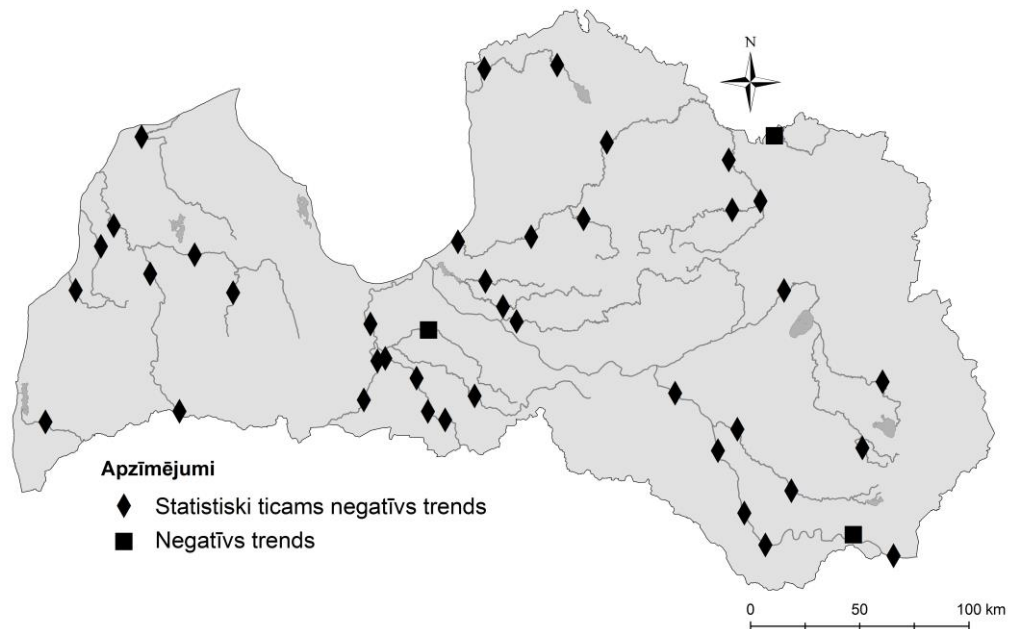
Latvijas austrumdaļā Daugavā posmā Piedruja – Jersika un lielākajā daļā Daugavas baseina mazo upju ledus sega vidēji uzlūst marta trešās dekādes sākumā – vidū, atsevišķās mazajās upēs arī marta pirmās dekādes beigās. Arī Gaujas augšteces posmā ledus segas uzlūšana vērojama marta trešās dekādes sākumā, bet lejteces posmā marta pirmās dekādes sākumā līdz marta otrās dekādes vidum. Atsevišķās Gaujas baseina mazajās upēs, kā, piemēram, Vaidavā un Amatā ledus uzlūšana vērojama arī janvāra beigās un februāra sākumā. Lielupē posmā Mežotne – Staļģene un Lielupes baseina mazajās upēs ledus sega vidēji uzlūst marta otrās dekādes vidū līdz trešās dekādes sākumam (5. pielikums).

Ledus segas uzlūšana principā vērojama starp februāra beigām līdz marta beigām. Ledus uzlūšanas datums starp 21. – 28. martu ir novērojams 31,8 % gadījumu visā novērojumu periodā, bet starp 11. – 20. martu 18,2 % gadījumu. Pusei jeb 50 % gadījumu datums ir novērojams marta pirmajā dekādē vai agrāk.

Aprēķinātais regresijas vienādojums ledus segas uzlūšanas datumam norāda, ka periodā no 1945. – 2012. gadam katros 10 gados ledus segas uzlūšana notiek vidēji 4 – 6 dienas agrāk Daugavā posmā Piedruja – Jersika, kā arī Aiviekstē, bet 5 – 8 dienas agrāk mazajās Daugavas baseina upēs. Savukārt Salacā un Gaujas augštecē 7 – 8 dienas vēlāk, bet lejtecē un mazajās Gaujas baseina upēs 5 – 6 dienas agrāk. Tikai 4 dienas

agrāk uzlūšana vērojama Lielupē posmā Mežotne – Kalnciems, bet 7 – 8 dienas agrāk Lielupes baseina mazajās upēs. Vislielākās izmaiņas vērojamas Ventā un piejūras baseina mazajās upēs, kur ledus uzlūšana notiek 8 – 15 dienas agrāk.

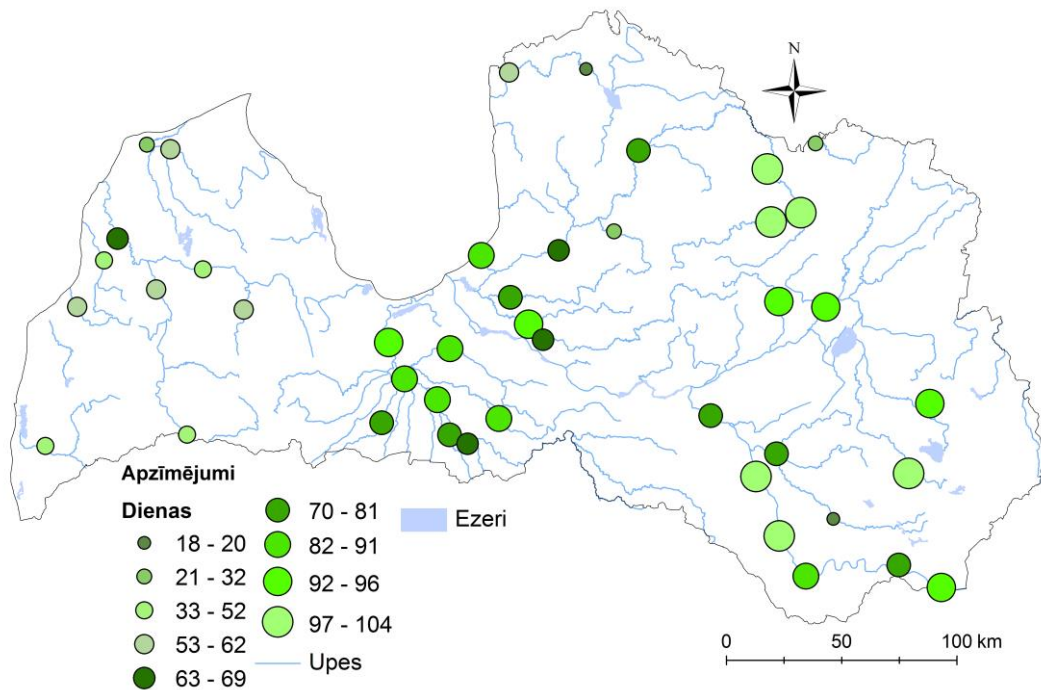
Agrāku ledus segas uzlūšanu apstiprina arī iegūtie Mann-Kendall testa rezultāti, kur 93,0 % gadījumu testa rezultāti ir statistiski ticami negatīvi. Arī pārējos gadījumos jeb 7,0 % gadījumu tests ir negatīvs (3.21. att., 6. pielikums).



3.21. att. Latvijas upju ledus segas uzlūšanas trendi periodā no 1945. – 2012. gadam

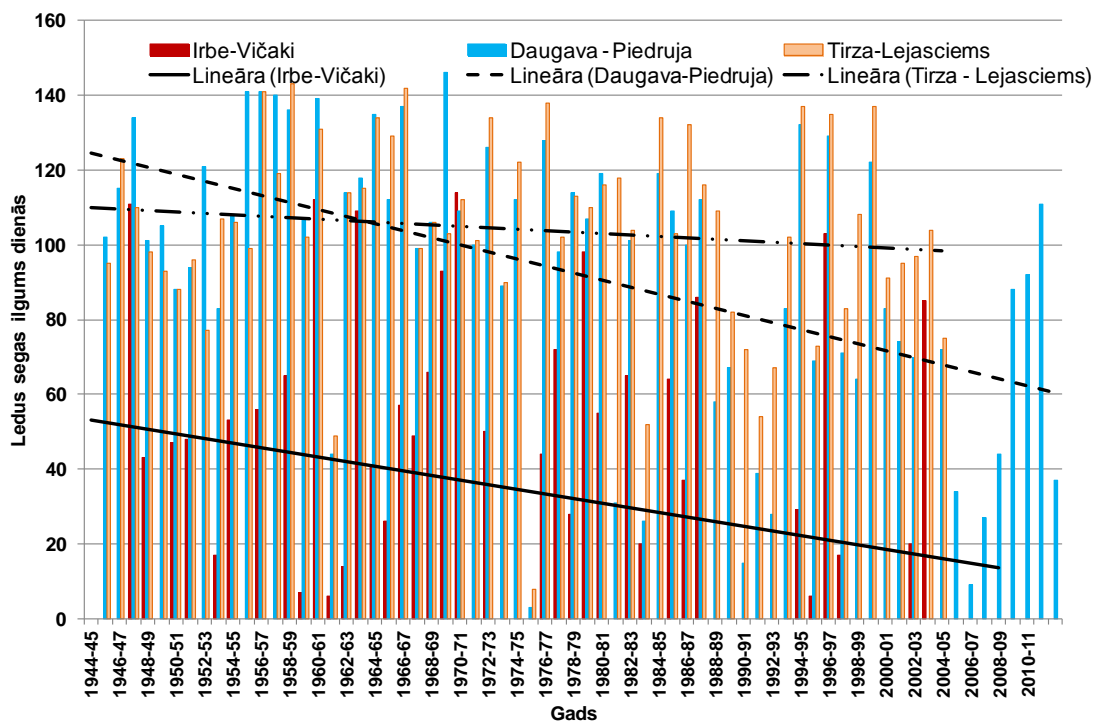
### 3.3.4. Ledstāve

Pētījuma periodā no 1945. – 2012. gadam vidējais ledus segas ilgums Latvijas austrumu daļā variē no 71 – 101 dienai (3.22. att.). Gaujas baseina upēm vidējais ledus segas ilgums ir robežās no 78 līdz 104 dienām, bet Latvijas centrālās daļas upēm no 66 līdz 94 dienām. Atsevišķās upēs, kā, piemēram, Amata un Vaidava vidējais ledus sega ilgums ir 28 līdz 30 dienas. Latvijas rietumu daļā – Ventā un piejūras baseina upēm vidējais ledus segas ilgums ir 32 līdz 69 dienas (5. pielikums).



3.22. att. Latvijas upju ledstāves vidējais ilgums periodā no 1945. – 2012. gadam

Lielākie ledstāves ilgumi saistīti ar pētāmā perioda pirmajām desmitgadēm līdz aptuveni septiņdesmitajiem gadiem, kad ledus segas ilgums pakāpeniski kļūst īsāks (3.23. att).

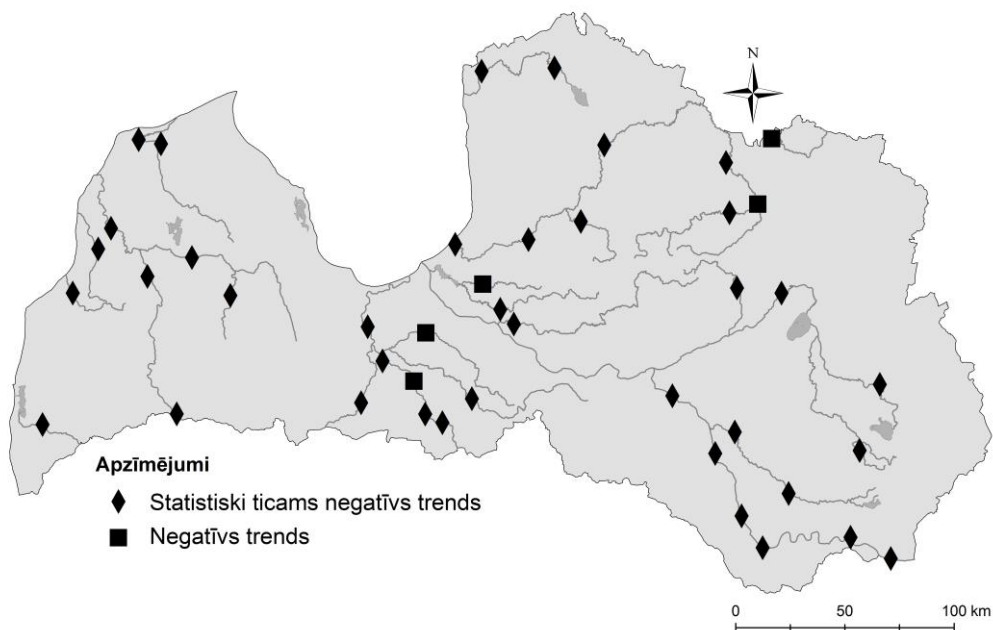


3.23. att. Ledstāves ilgums Daugava – Piedruja, Irbe – Vičaki, Tirza – Lejasciems HNSs no 1945. – 2012. gadam. Melnās līnijas – mainības tendences

Statistiski ticams pozitīvs trends ledus segas izveidošanās datumam un statistiski ticams negatīvs trends uzlūšanas datumos norāda uz ledus segas ilguma samazināšanos Latvijas upēs. Pielietotā Mann-Kendall testa rezultāti 88,4 % gadījumu uzrādīja statistiski ticamu negatīvu trendu, bet 11,6 % gadījumu negatīvu trendu, kas nozīmē, ka lielākajā daļā Latvijas upju notiek statistiski ticama ledus segas ilguma samazināšanās (3.24. att., 6. pielikums).

Aprēķinātais regresijas vienādojums ledstāves ilgumam norāda, ka periodā no 1945. – 2012. gadam katros 10 gados ledus segas ilgums vidēji samazinās par 6 – 15 dienām Latvijas austrumdaļā, centrālajā daļā par 1 – 11 dienām, bet rietumdaļā par 6 – 14 dienām.

Analizējot laika posmu no 1945. – 2012. gadam pa desmitgadēm un izvērtējot, cik bieži ledus sega nav izveidojusies vai arī tā bijusi nepilna, redzams, ka, sākot no septiņdesmitajiem gadiem, aizvien biežāk parādās gadījumi, kad ledus sega nav bijusi. Latvijas austrumu daļā šī tendence nav tik būtiska – 1 – 3 gadījumi desmitgadē, bet lielākās izmaiņas ir saistītas ar Latvijas rietumdaļu, kur desmitgadē ledus sega var neizveidoties 4 – 6 reizes.



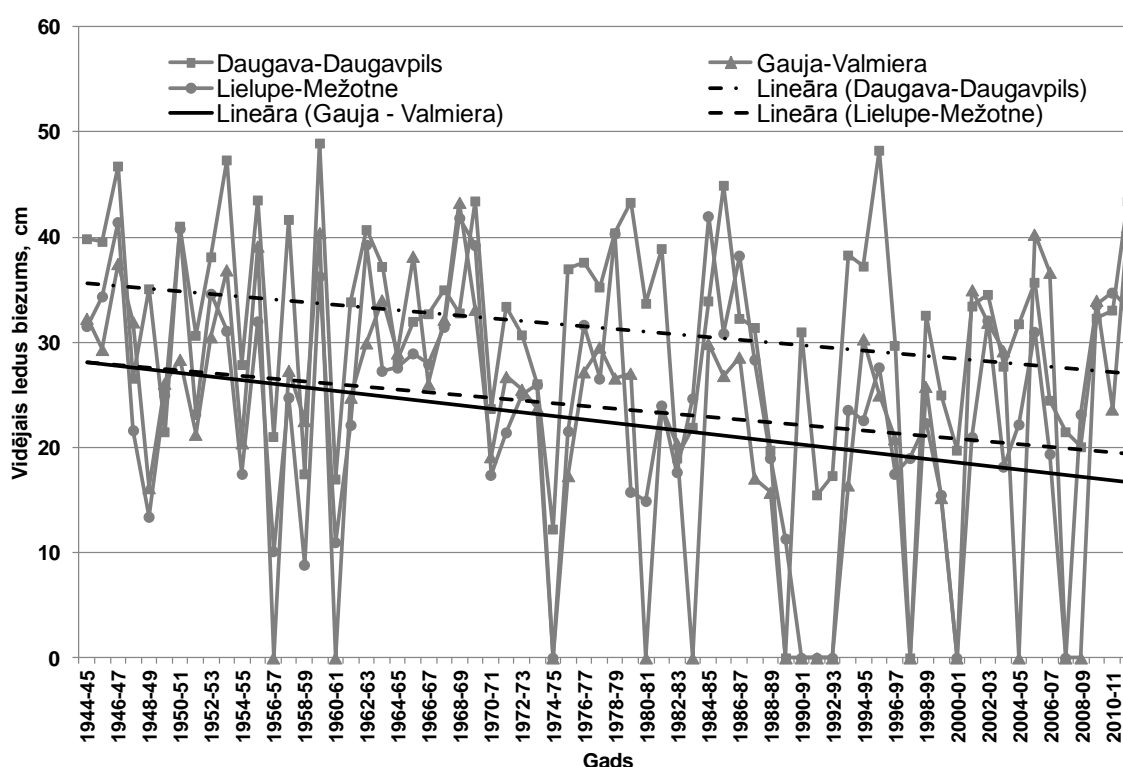
3.24. att. Latvijas upju ledstāves ilguma trendi periodā no 1945. – 2012. gadam

### 3.3.5. Ledus biezums

Ledus biezums visos gados nav vienāds. Siltās ziemās ledus sega vai nu ir ļoti plāna, saglabājas neilgu laiku, vai arī neizveidojas nemaz. Savukārt bargās ziemās ledus biezums svārstās vairāku desmitu centimetru robežās. Pētījuma periodā no 1945. – 2012. gadam Latvijas austrumu daļā novērojams lielākais gada vidējais ledus biezums un tas svārstās robežās no 27 – 32 cm Daugavā un no 19 – 33 cm vidējās un mazajās Latvijas austrumdaļas upēs. Vidzemes augstienes mazajās un vidējās upēs ledus biezums ir robežās no 16 – 19 cm, Gaujā no 20 – 24 cm, Salacā 29 cm. Latvijas

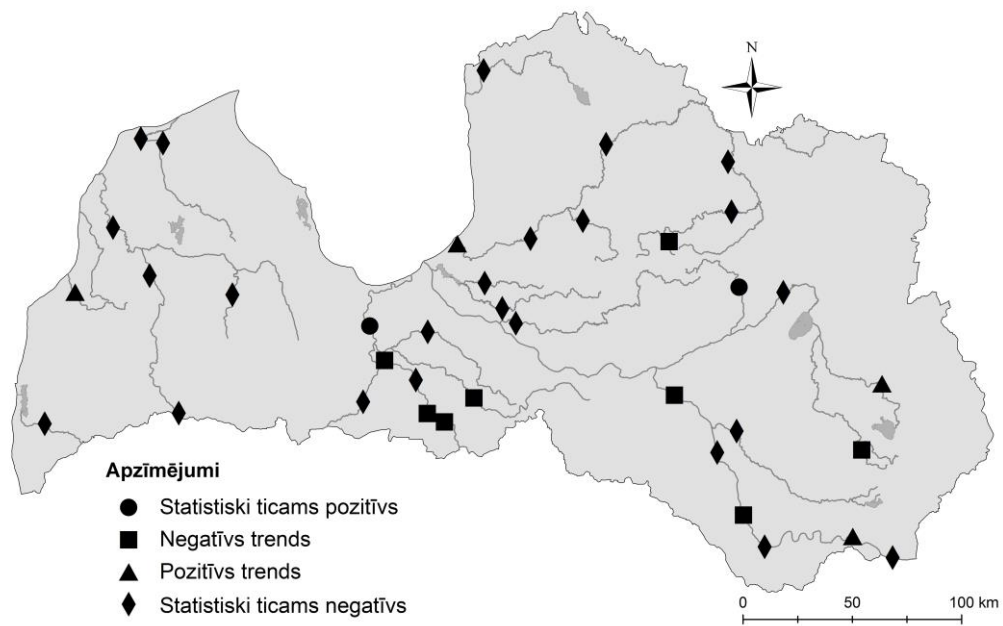
centrālās daļas mazajās upēs vidējais ledus biežums variē no 19 – 24 cm, bet Lielupē no 24 – 25 cm. Latvijas rietumdaļā Ventā, kā arī mazajās piekrastes upēs vidējais ledus biežums ir ap 20 cm. Latvijas rietumdaļā maksimālais novērotais ledus biežums periodā no 1945. – 2012. gadam Ventā posmā Vārdava – Vendzava ir 58 – 67 cm, bet piejūras mazajās upēs no 35 – 89 cm. Centrālās daļas mazajās upēs maksimālais novērotais ledus biežums ir bijis robežās no 60 – 90 cm, bet Lielupē ap 60 – 70 cm. Arī Gaujā maksimālie novērotie ledus biežumi ir robežās no 60 – 80 cm, bet Latvijas ziemeļdaļā Salacā – 90 cm. Arī lielākie maksimālie ledus biežumi novērojami Latvijas austrumdaļā: mazajās un vidējās upēs maksimālais novērotais ledus biežums ir robežās no 60 – 100 cm, Daugavā no 60 – 80 cm. Iepriekšminētie maksimālie ledus biežumi galvenokārt upēs novērojami pirms 1970. gada.

Analizējot datus par pētījuma periodu no 1945. – 2012. gadam, redzams, ka vidējam ledus biežumam ir tendence samazināties (3.25. att.).



3.25. att. Vidējā ledus biežuma izmaiņu tendences laika periodā no 1945. – 2012. gadam.  
Melnās līnijas – mainības tendence

Aprēķinātie Mann-Kendall testa rezultāti vidējam ledus biežumam 63,2 % gadījumu uzrādīja statistiski ticamu negatīvu trendu, bet 21,0 % gadījumu negatīvu trendu. Taču jāatzīmē, ka 5,3 % gadījumu iegūts arī statistiski ticams pozitīvs trends un 10,5 % gadījumu pozitīvs trends (3.26. att., 7. pielikums).



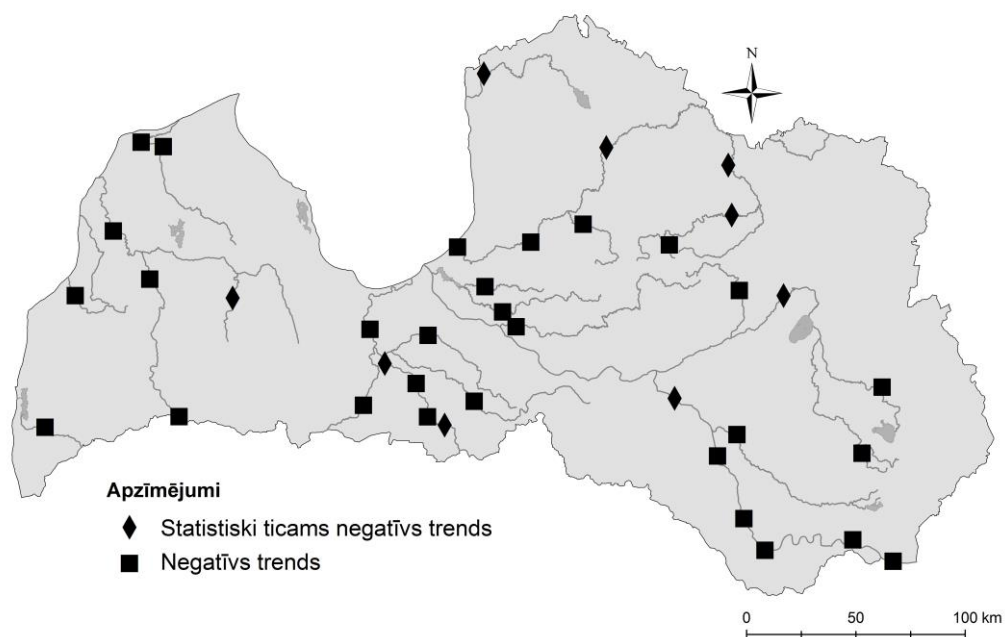
3.26. att. Latvijas upju vidējā ledus biezuma trendi periodā no 1945. – 2012. gadam

Vērtējot aprēķināto regresijas vienādojumu vidējam ledus biezumam, redzams, ka katros 10 gados Daugavas un Lielupes baseinā gada vidējais ledus biezums samazinās tikai par 1 – 3 cm, Gaujas baseinā par 1 – 5 cm, bet Latvijas rietumdaļas upēs par 2 – 6 cm.

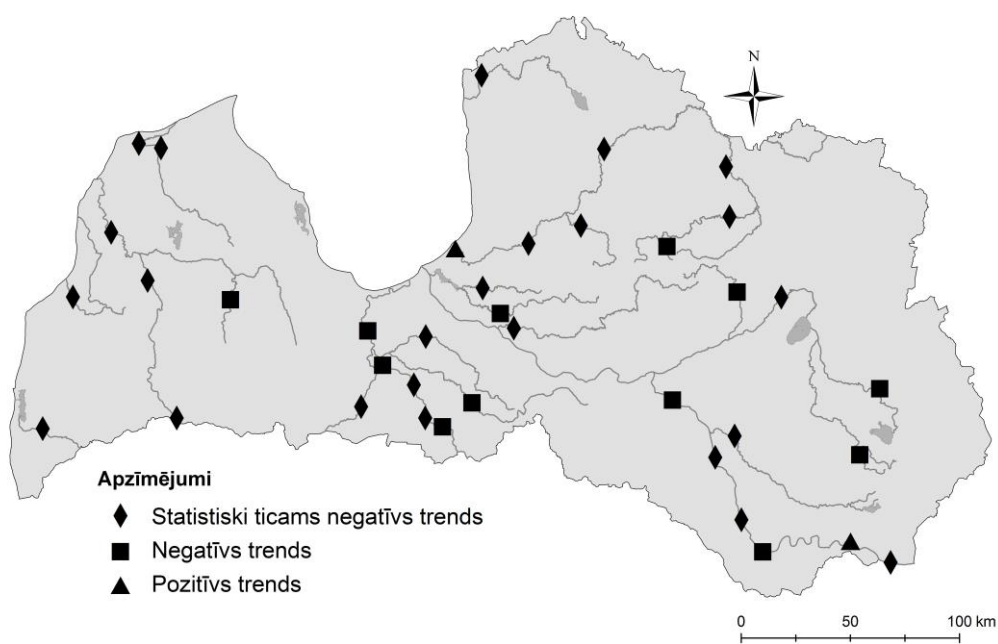
Analizējot ledus biezumus pa mēnešiem, maksimālie ledus biezumi galvenokārt saistāmi ar februāra un marta mēnešiem. Latvijas austrumdaļā maksimālais ledus biezums lielākoties novērojams martā, atsevišķās upēs februārī, bet Latvijas centrālajā daļā un rietumdaļā maksimālais ledus biezums saistāms ar februāra mēnesi. Maksimālā ledus biezuma datuma Mann-Kendall testa rezultāti uzrāda negatīvu trendu – 23,7 % gadījumu statistiski ticamu negatīvu, bet 76,3 % gadījumu negatīvu (3.27. att., 7. pielikums). Tas nozīmē, ka maksimālie ledus biezumi upēs tiek novēroti agrāk.

Aprēķinātais regresijas vienādojums maksimālā ledus biezuma datumam uzrāda, ka Latvijas austrumu un ziemeļdaļā maksimālā ledus biezuma datums tiek novērots 1 – 5 dienas ātrāk katros 10 gados, bet centrālajā un rietumu daļā 3 – 6 dienas ātrāk.

Arī Mann-Kendall testa rezultāti maksimālajam ledus biezumam uzrāda statistiski ticamu negatīvu trendu 63,2 % gadījumu, 31,5 % gadījumu negatīvu trendu, bet 5,3 % gadījumu pozitīvu trendu (3.28. att., 7. pielikums).



3.27. att. Latvijas upju maksimālā ledus biezuma datuma trendi periodā no 1945. – 2012. gadam

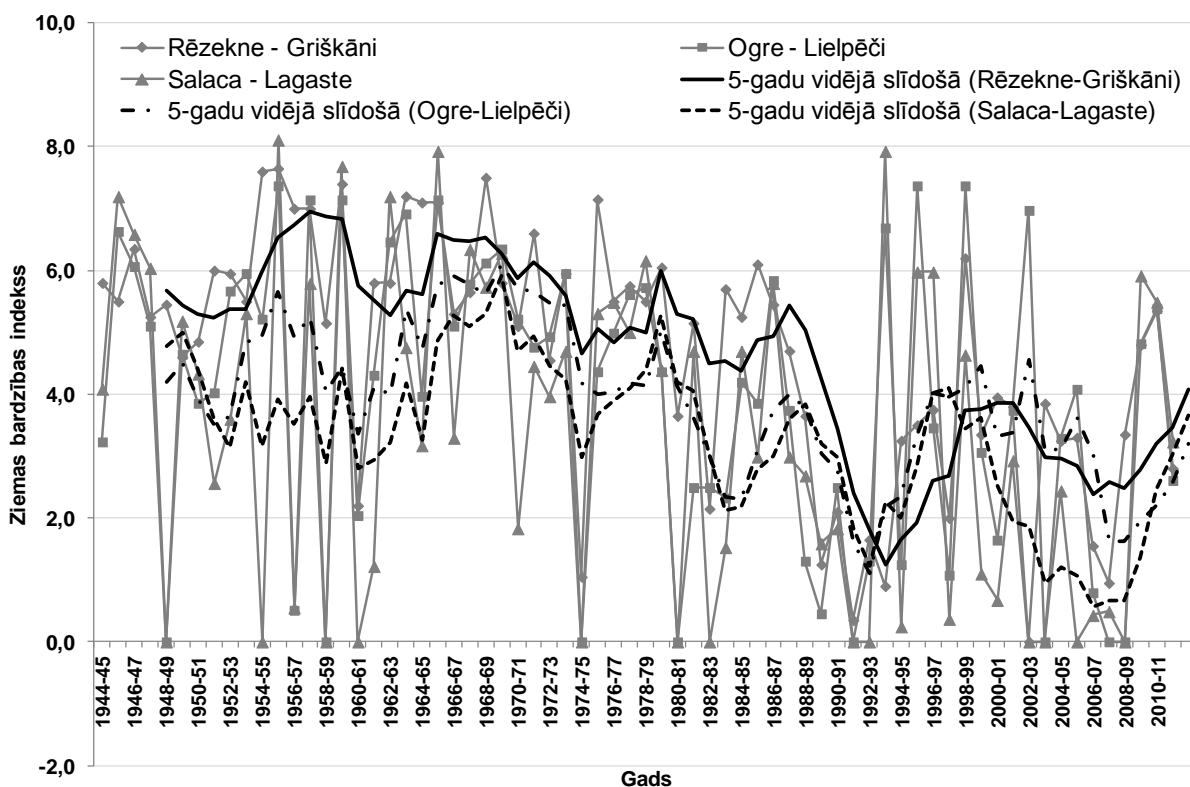


3.28. att. Latvijas upju gada maksimālā ledus biezuma trendi periodā no 1945. – 2012. gadam

Pēc aprēķinātā regresijas vienādojuma katros 10 gados maksimālais ledus biežums Daugavas, Gaujas un Lielupes baseina upēm samazinās par 1 – 4 cm, Salacā un Ventas baseinā par 3 – 4 cm, bet piejūras baseina upēs par 2 – 8 cm.

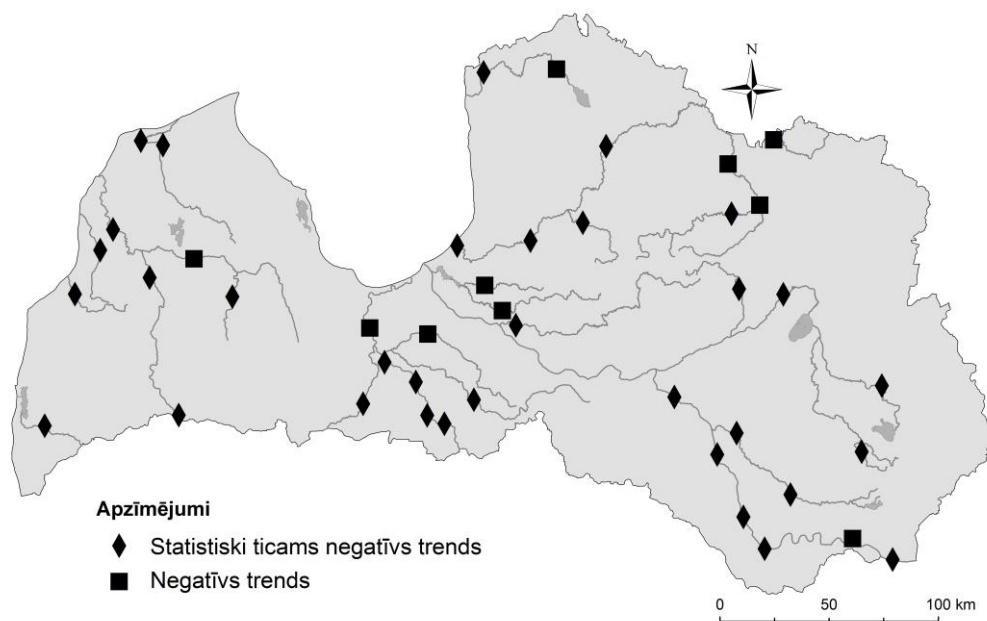
### 3.3.6. Ziemas bardzības indekss

Lai pētījuma periodā no 1945. – 2012. gadam novērtētu katras konkrētās ziemas apstākļus, tika aprēķināts ziemas bardzības indekss. Kā redzams 3.29. attēlā, tad ziemas bardzības indeksā vērojamas reģionālas atšķirības – lielāks tas ir upēm, kas atrodas Latvijas austrumdaļā un centrālajā daļā, bet mazāks upēm, kas atrodas Latvijas rietumdaļā un tiešā jūras tuvumā, kā, piemēram, Salacas – Lagastes HNS gadījumā.



3.29. att. Ilgtermiņa ziemas bardzības indekss Rēzeknes, Salacas, Ogres un Irbes upes piemērā laika periodam no 1945. – 2012. gadam

Balstoties uz aprēķināto ziemas bardzības indeksu, redzams, ka pēdējās dekādēs tiek novērotas daudz siltākas un mitrākas ziemas, kas nozīmē, ka siltāki klimatiskie apstākļi, nosaka vēlāku ledus segas izveidošanās datumu, agrāku ledus segas uzlūšanu, līdz ar to arī īsāku ledstāves ilgumu, kā arī mazāku ledus biežumu. To, ka pēdējā desmitgadē ziemas kļūst siltākas, apstiprina arī ziemas bardzības indeksa Mann-Kendall testa rezultāti, jo 76,7 % gadījumu trends ir statistiski ticams negatīvs, bet 23,3 % gadījumos trends ir negatīvs (3.30. att., 6. pielikums). Arī aprēķinātā ziemas bardzības indeksa un negatīvo gaisa temperatūru summu kopsakarību analīze uzrāda statistiski nozīmīgu negatīvu korelāciju (3.20. tab.).



3.30. att. Ziemas bardzības indeksa trendi periodā no 1945. – 2012. gadam

3.20. tabula

**Ziemas bardzības indeksa un negatīvo gaisa temperatūras summu korelācija**

HNS	Korelācijas koeficients	HNS	Korelācijas koeficients
Daugava - Piedruja	-0,554**	Tirza - Lejasciems	-0,638**
Daugava - Daugavpils	-0,588**	Lielupe - Mežotne	-0,760**
Daugava - Jēkabpils	-0,547**	Lielupe - Jelgava	-0,496**
Daugava - Krāslava	-0,378**	Lielupe - Kalnciems	-0,638**
Daugava - Vaikuļāni	-0,500**	Lielupe - Staļģene	-0,640**
Daugava - Jersika	-0,614**	Iecava - Dupši	-0,801**
Dubna - Sīļi	-0,695**	Svēte - Ūziņi	-0,778**
Dubna - Višķi	-0,480**	Mūsa - Bauska	-0,738**
Aiviekste - Lubāna	-0,749**	Misa - Lielveisi	-0,773**
Kuja - Aizkuja	-0,742**	Salaca - Lagaste	-0,775**
Rēzekne - Griškāni	-0,593**	Salaca - Mazsalaca	-0,625**
Balda - Dorotpoļe	-0,643**	Venta - Vārdava	-0,777**
Ogre - Lielpēči	-0,771**	Venta - Kuldīga	-0,758**
Lielā Jugla - Zaķi	-0,297*	Venta - Vendzava	-0,705**
M.Jugla - Stariņi	-0,717**	Imula - Pilskalni	-0,700**
Gauja - Tilderi	-0,673**	Abava - Renda	-0,423**
Gauja - Velēna	0,654**	Irbe - Vičaki	-0,839**
Gauja - Valmiera	-0,684**	Stende - Ance	-0,724**

### 3.20. tabulas turpinājums

HNS	Korelācijas koeficients	HNS	Korelācijas koeficients
Gauja - Carnikava	-0,668**	Rīva - Pievīķi	-0,807**
Vaidava - Ape	-0,621**	Bārta - Dūkupji	-0,709**
Amata - Melturi	-0,760**		

\*\* statistiski būtisks pie  $p < 0,01$ ; \* statistiski būtisks pie  $p < 0,05$

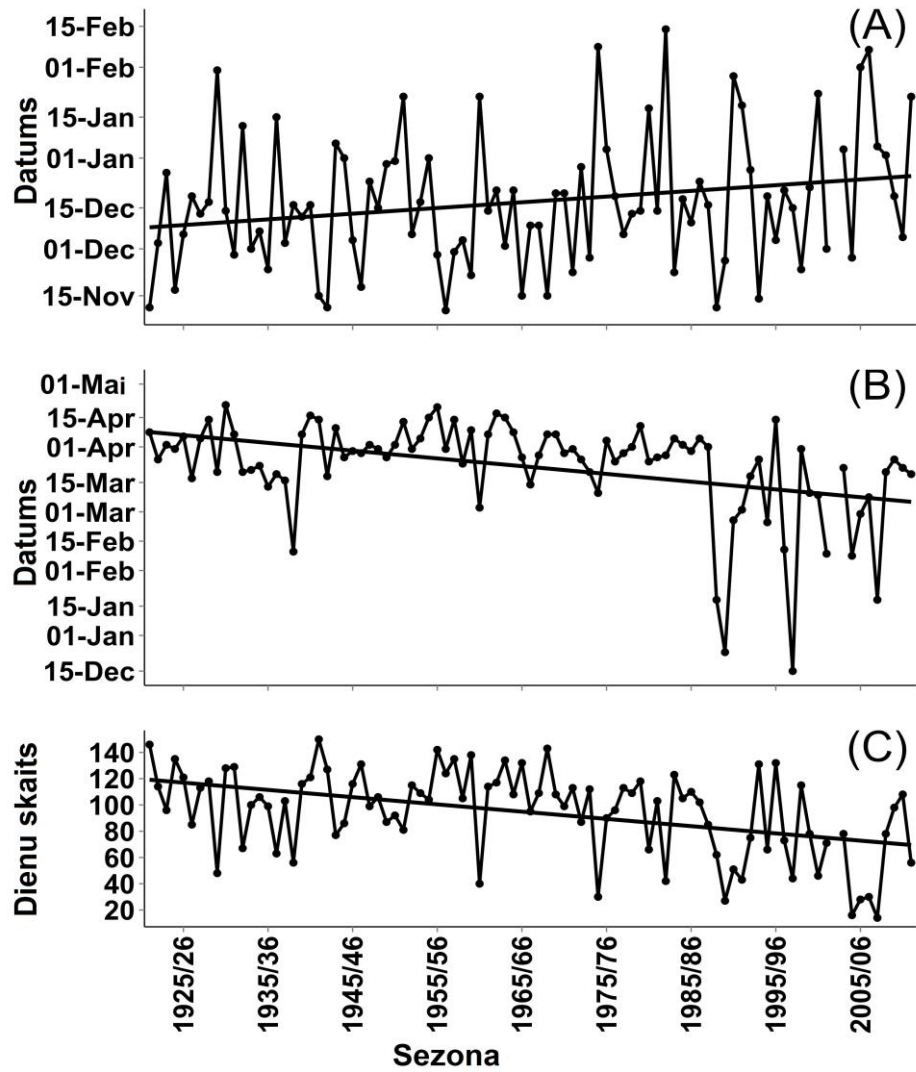
Analizējot aprēķināto ziemas bardzības indeksu, tad attiecībā uz bargām ziemām attiecināmas tādas sezonas kā, piemēram, 1945./1946. – 1946./1947. gads, 1954./1955. – 1959./1960. gads, 1968./1969. gads, 1975./1976. gads, 1983./1984. gads, 1993./1994. gads, 1995./1996. gads, 2002./2003. gads, kā arī 2009./2010 – 2010./2011. gads. Tas saskan arī ar ledstāves ilgumu, kur garākais ledstāves ilgums novērojams galvenokārt pētāmā perioda pirmajās desmitgadēs, kā arī ar iepriekšminētajiem gadiem saistīti vieni no vēlākajiem ledus segas uzlūšanas datumiem. Pie mērenām ziemām var iedalīt šādas sezonas – 1962./1963. gads, 1973./1974. gads, 1978./1979. gads, 1987./1988. – 1988./1989. gads, savukārt pie siltām ziemām – 1964./1965. – 1965./1966. gads, 1974./1975. gads, 1980./1981. gads, 1990./1991. – 1994./1995. gads, kā arī 2004./2005. – 2007./2008. gads, kad ledus segas veidošanās ir notikusi vēlu un agri notikusi ledus segas uzlūšana.

### 3.3.7. Hidroelektrostaciju ietekme uz ledus fenoloģiju Daugavā

#### 3.3.7.1. Daugavas ledus fenoloģijas ilgtermiņa izmaiņas

Dati par ledus segas izveidošanās un uzlūšanas datumiem, kā arī ledus segas ilgumu Daugavā apkopoti 3.21. tabulā. Kā redzams, tad Daugavas augštecē vidēji upes aizsalšana notiek vēlāk, bet uzlūšana agrāk, ko galvenokārt ietekmē klimatiskie apstākļi. Turklāt Piedrujas, Daugavpils, Jersikas un Jēkabpils HNS ir visgarākās novērojumu rindas (līdz pat 2012. gadam), tādējādi aptverot arī periodu, kad novērojamas būtiskas globālās klimata pārmaiņas. Tomēr pārējās HNS ledus parametru vidējās vērtības neatspoguļo iepriekš minēto, ko nosaka, pirmkārt īsāks novērojumu periods, kā arī HES kaskāžu būvniecība uz Daugavas. Pētījuma rezultāti parādīja, ka Daugavas augšteces posmā (Piedrujas, Daugavpils un Jersikas HNS gadījumā) nav novērojami gadi, kad nav izveidojusies ledus sega. Visbiežāk ledus sega nav izveidojusies pie Pļaviņu HNS, kas atrodas netālu no Pļaviņu HES kaskādes.

Kā redzams Daugavpils HNS piemērā (3.31. att.), tad ledus segas izveidošanās datumam ir pozitīva tendence, savukārt ledus segas uzlūšanas datumam un ledstāves ilgumam negatīvs trends. Tas nozīmē, ka šajā HNS pēdējās desmitgadēs ledus sega veidojas vēlāk, uzlūšana notiek agrāk, kas nozīmē, ka arī ledus segas ilgums ir īsāks. Mann-Kendall testa rezultāti uzrādīja statistiski ticamas ledus fenoloģijas parametru ilgtermiņa izmaiņas, ja datu novērojumu periods aptver vairāk nekā 60 gadus un ir līdz 2012. gadam (3.22. tab.).



3.31. att. Ledus izveidošanās (A) un uzlūšanas datuma (B) un ledstāves ilguma (C) izmaiņas Daugava – Daugavpils HNS no 1921. – 2012. gadam. Nepārtrauktā līnija – mainības tendences

Ledus fenoloģisko parametru raksturojums Daugavā. Novērojumu periods katrai stacijai ir atšķirīgs un dots  
8. pielikumā. (MAX – maksimālais; MIN – minimālais; VID – vidējais; SD – standartnovirze)

HNS	Izveidošanās				Uzlūšana				Lestāves ilgums, dienās				Gadu skaits bez ledus segas
	Min	Max	Vid	SD	Min	Max	Vid	SD	Min	Max	Vid	SD	
Piedruja	11.nov	01.mar	21.dec	28,8	21.dec	20.apr	24.mar	20,2	3	146	92	37,0	0
Daugavpils	10.nov	14.feb	17.dec	22,6	15.dec	21.apr	22.mar	23,5	14	150	94	32,6	0
Jersika	09.nov	11.feb	14.dec	20,2	26.dec	18.apr	24.mar	19,2	21	149	100	29,1	0
Jēkabpils	30.okt	10.mar	25.dec	30,1	10.dec	19.apr	16.mar	30,8	0	144	78	42,5	9
Pļaviņas	05.nov	03.feb	13.dec	22,6	02.feb	18.apr	24.mar	17,3	0	159	78	48,7	18
Dzelzlejas	17.nov	25.feb	25.dec	22,5	31.dec	17.apr	22.mar	24,0	0	145	79	41,4	4
Jaunjelgava	08.nov	24.feb	23.dec	28,6	03.jan	20.apr	23.mar	18,9	0	153	88	39,0	1
Ogre	02.dec	06.mar	06.jan	25,1	10.feb	21.apr	22.mar	16,6	0	126	68	39,5	4
Lipši	24.nov	02.feb	27.dec	18,8	10.feb	21.apr	28.mar	15,5	0	129	80	37,4	4
Maruška	31.okt	06.mar	12.dec	23,5	26.dec	21.apr	27.mar	18,5	0	159	98	40,4	3
Sarkanais Kvadrāts	09.nov	05.feb	15.dec	19,0	03.jan	20.apr	27.mar	17,6	0	142	102	27,8	3

Mann-Kendall testa rezultāti ledus segas izveidošanās un uzlūšanas datumam un ledstāves ilgumam

HNS	Novērojumu skaits	Izveidošanās		Uzlūšana		Ledstāves ilgums	
		T-vērtība	p-vērtība	T-vērtība	p-vērtība	T-vērtība	p-vērtība
Piedruja	67	<b>2,208</b>	0,01	<b>-2,322</b>	<0,001	<b>-2,332</b>	<0,001
Daugavpils	90	<b>2,144</b>	0,04	<b>-2,275</b>	<0,001	<b>-2,284</b>	<0,001
Jersika	77	<b>2,167</b>	0,03	<b>-2,199</b>	0,01	<b>-2,219</b>	0,005
Jēkabpils	81	<b>2,242</b>	<0,001	<b>-2,178</b>	0,01	<b>-2,251</b>	0,005
Pļaviņas	64	<b>-2,364</b>	<0,001	<b>2,216</b>	0,005	<b>2,333</b>	<0,001
Dzelzlejas	30	-0,184	0,12	0,255	0,03	0,311	0,01
Jaunjelgava	70	0,048	0,55	-0,103	0,21	-0,087	0,29
Ogre	25	0,365	0,006	-0,030	0,83	-0,318	0,01
Lipši	37	0,150	0,16	0,071	0,51	-0,087	0,43
Maruška	56	0,038	0,68	0,037	0,68	0,000	1,00
Sarkanais Kvadrāts	45	<b>2,269</b>	0,01	-0,074	0,48	<b>-2,247</b>	0,01

*treknrakstā – statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$*

### 3.3.7.2. Hidroelektrostaciju kaskāžu ietekme uz ledus fenoloģiju

Lai novērtētu izmaiņas ledus fenoloģijā Daugavā pirms un pēc Ķeguma HES uzcelšanas, tika salīdzināti divi laika periodi: no 1920./21. – 1938./39. gadam (pirms HES uzbūvēšanas) un no 1939./40. – 1957./58. gadam (pēc HES uzbūvēšanas). Viena no hipotēzēm bija, ka galvenokārt HES būvniecība ir ietekmējusi Daugavas ledus fenoloģiju, ko apstiprina pētījumā iegūtie rezultāti. Kā redzams 3.23. tabulā, tad statistiski ticamas izmaiņas pēc Ķeguma HES uzbūvēšanas vērojamas Jaunjelgavas HNS, kas atrodas Ķeguma HES ūdenskrātuvē (31 km augšpus dambim). Kā redzams pēc novērojumiem, tad Jaunjelgavas HNS periodā no 1939./40. – 1957./58. gadam ledus veidošanās notiek aptuveni mēnesi ātrāk (33 dienas), bet uzlūšana aptuveni 2 nedēļas vēlāk (15 dienas), tādējādi pagarinot ledstāves ilgumu (par 46 dienām). Līdzīgas izmaiņas vērojamas arī Dzelzleju HNS, kas arī atrodas augšpus Ķeguma HES (57 km augšpus dambim). Savukārt Ogres un Lipšu HNS atrodas 12 km un 28 km lejpus dambim un šajās stacijās novērojams pretējs ledus veidošanās process: upes aizsalšana notiek vēlāk, ledus segas uzlūšana ātrāk un ledus segas ilgums ir īsāks. Jo HNS attālums no dambja ir lielāks, jo mazāka HES radītā ietekme uz ledus fenoloģiju.

3.23. tabula

**Ķeguma hidroelektrostacijas ietekme uz Daugavas ledus fenoloģiju. Periods no 1920./21.-1938./39. gadam – pirms hidroelektrostacijas izbūves; periods no 1939./40.-1957./58. gadam – pēc hidroelektrostacijas izbūves**

HNS	Izveidošanās			Uzlūšana			Ledstāves ilgums, dienās		
	Pirms	Pēc	Izmaiņas	Pirms	Pēc	Izmaiņas	Pirms	Pēc	Izmaiņas
Daugavpils <sup>2)</sup>	13.dec	12.dec	1	26.mar	04.apr	10	102	111	10
Jersika <sup>4)</sup>	13.dec	07.dec	6	23.mar	02.apr	9	101	114	13
Jēkabpils	12.dec	19.dec	-7	24.mar	10.mar	-14	94	86	-9
Pļaviņas <sup>3)</sup>	16.jan	12.feb	-26	15.feb	24.jan	-21	50	34	-16
Dzelzlejas <sup>4)</sup>	16.jan	01.jan	15	26.feb	16.mar	18	54	85	31 <sup>1)</sup>
Jaunjelgava	02.jan	30.nov	33 <sup>1)</sup>	20.mar	04.apr	15 <sup>1)</sup>	78	124	46 <sup>1)</sup>
Ogre <sup>6)</sup>	28.dec	28.jan	-32 <sup>1)</sup>	20.mar	04.mar	-17	82	56	-27
Lipši <sup>7)</sup>	22.dec	09.jan	-18	21.mar	19.mar	-2	88	72	-16
Maruška <sup>5)</sup>	12.dec	13.dec	-2	23.mar	27.mar	4	100	107	7

<sup>1)</sup> – statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$ ; <sup>2)</sup> – 1921/22-1938/39; <sup>3)</sup> – 1930/31-1938/39; <sup>4)</sup> – 1931/32-1938/39; <sup>5)</sup> 1922/23-1938/39; <sup>6)</sup> – 1926/27-1938/39 un 1939/40-1956/57; <sup>7)</sup> – 1928/29-1938/39

Savukārt, lai novērtētu Pļaviņu HES ietekmi, tika salīdzināti periodi no 1947./48. – 1967./68. gadam (pirms HES uzbūvēšanas) un no 1968./69. – 1987./88. gadam (pēc HES uzbūvēšanas) (3.24. tab.). Par ietekmi, ko izraisījusi Pļaviņu HES uzcelšana var spriest pamatā uz novērojumiem Pļaviņu HNS, kas atrodas Pļaviņu ūdenskrātuvē (41 km augšpus dambim). Lejpus Pļaviņu HES nav HNS, kas atrastos tiešā HES ietekmē. Pētījuma rezultāti parādīja, ka Pļaviņu HNS pēc Pļaviņu HES izbūves, ledus veidošanās notiek 68 dienas agrāk, bet uzlūšana 69 dienas vēlāk, tādējādi pagarinot ledstāves ilgumu par 80 dienām. Visas ledus parametru izmaiņas ir statistiski ticamas pie būtiskuma līmeņa  $p < 0,05$ . Ievērojamās izmaiņas varētu tikt skaidrotas ar faktu, ka agrāk Pļaviņu HNS atradās straujā upes posmā, kurā ledus segas veidošanās notika reti,

bet pēc Pļaviņu HES izbūves un ūdenskrātuves izveidošanas 1968. gadā, ledus segas izveidošanās vērojama katru gadu.

3.24. tabula

**Pļaviņu hidroelektrostacijas ietekme uz Daugavas ledus fenoloģiju. Periods no 1947./48.-1967./68. gadam – pirms hidroelektrostacijas izbūves; periods no 1968./69.-1987./88. gadam – pēc hidroelektrostacijas izbūves**

HNS	Izveidošanās			Uzlūšana			Ledstāves ilgums, dienās		
	Pirms	Pēc	Izmaiņas	Pirms	Pēc	Izmaiņas	Pirms	Pēc	Izmaiņas
Piedruja	12.dec	26.dec	-14	04.apr	30.mar	-4	113	95	-17
Daugavpils	14.dec	20.dec	-6	03.apr	30.mar	-4	109	98	-11
Jersika	10.dec	16.dec	-5	31.mar	31.mar	0	110	106	-4
Jēkabpils	31.dec	30.dec	1	04.mar	30.mar	26 <sup>1)</sup>	76	90	14
Pļaviņas	11.feb	05.dec	68 <sup>1)</sup>	21.jan	01.apr	69 <sup>1)</sup>	35	115	80 <sup>1)</sup>
Lipši <sup>2)</sup>	12.jan	04.jan	8	16.mar	31.mar	15	73	77	4
Maruška <sup>3)</sup>	11.dec	02.jan	-22	29.mar	11.mar	-18	109	74	-35
Sarkanais Kvadrāts <sup>4)</sup>	09.dec	24.dec	-16 <sup>1)</sup>	01.apr	23.mar	-9	113	88	-26 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> – statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$ ; <sup>2)</sup> – 1968./69.-1971./72.; <sup>3)</sup> – 1985./86.-1938./39.; <sup>4)</sup> – 1968./69.-1986./87.

1974. gadā uz Daugavas tika izbūvēta trešā HES. Rīgas HES atrodas 36 km no Daugavas ietekas Rīgas līcī. Laika posms no 1953./54. – 1973./74. gadam raksturojams, kā periods pirms Rīgas HES izbūves, bet posms no 1974./75. – 1992./93. gadam pēc HES izbūves (3.25. tab.). Rīgas HES gadījumā ietekme, ko radījusi HES izbūve, vērtējama pēc Maruškas (6 km leņpus dambim) un Sarkanā Kvadrāta (12 km leņpus dambim) HNS novērojumu datiem. Lielākās izmaiņas, kas arī ir statistiski ticamas, vērojamas Maruškas NS gadījumā: ledus veidošanās notiek 58 dienas vēlāk, bet uzlūšana 41 dienu agrāk, līdz ar to ledus segas ilgums samazinās par 91 dienu. Šajā laika periodā ledus režīmu ietekmē ne vien HES, bet arī globālās klimata pārmaiņas, kas visredzamāk izpaužas 1980-to gadu beigās. To apstiprina arī novērojumu dati no HNS, kas atrodas Daugavas augštecē (Piedrujas, Daugavpils, Jersikas HNS).

**Rīgas hidroelektrostacijas ietekme uz Daugavas ledus fenoloģiju. Periods no 1953./54.-1973./74. gadam – pirms hidroelektrostacijas izbūves; periods no 1974./75.-1992./93. gadam – pēc hidroelektrostacijas izbūves**

HNS	Izveidošanās			Uzlūšana			Ledstāves ilgums, dienās		
	Pirms	Pēc	Izmaiņas	Pirms	Pēc	Izmaiņas	Pirms	Pēc	Izmaiņas
Piedruja	07.dec	30.dec	-23	03.apr	17.mar	-18	117	77	-40
Daugavpils	08.dec	24.dec	-16	02.apr	17.mar	-16	113	82	-31
Jersika	07.dec	22.dec	-15	31.mar	20.mar	-11	113	89	-24
Jēkabpils	27.dec	04.jan	-8	13.mar	15.mar	2	84	80	-4
Plaviņas	17.jan	04.dec	44	18.feb	24.mar	34	67	108	41
Maruška <sup>2)</sup>	05.dec	01.feb	-58 <sup>1)</sup>	30.mar	17.feb	-41 <sup>1)</sup>	118	26	-91 <sup>1)</sup>
Sarkanais Kvadrāts <sup>3)</sup>	08.dec	28.dec	-20	28.mar	25.mar	-3	110	85	-25

<sup>1)</sup> – statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$ ; <sup>2)</sup> – 1974./75.-1985./86.; <sup>3)</sup> – 1974./75.-1986./87.;

## 4. DISKUSIJA

### 4.1. Upju ūdens notece

#### 4.1.1. Upju ūdens notece mūsdienu klimata apstākļos

Latvijas upes ietilpst Austrumeiropas hidroloģiskajā rajonā, kas aptver plašu teritoriju no Baltijas jūras līdz pat Melnajai jūrai (Эдельштейню, 2005). Latvijas upes var raksturot ar tipisku hidrogrāfu: divi daudzūdens periodi (pavasārī sniega kušans laikā un vēlā rudenī intensīvu nokrišņu laikā) un divi mazūdens periodi (ziemā un vasarā). Tomēr jāatzīmē, ka noteces maksimums var tikt novērots arī siltajā sezonā pēc intensīvām lietusegāzēm. Latvijas upju galvenais ūdensguves veids ir sniega kušanas ūdeņi, kam seko lietuse un pazemes ūdeņi (vidēji no 10 līdz 35 %) (Глазачева, 1980).

Pēc pētījumā iegūtajiem rezultātiem, periodā no 1951. – 1987. gadam, kas raksturojas kā periods bez būtiskām klimata izmaiņu iezīmēm, upēs no gada kopējās noteces lielākais noteces apjoms veidojās pavasara sezonā (37 – 52 %) ar lielāko caurplūdumu līdz 30 % tieši aprīlī, kam sekoja ziemas notece (17 – 30 %), rudens (17 – 25 %) un vasaras notece (9 – 14 %) attiecīgi ar mazāko caurplūdumu 2 – 4 % jūlijā un augustā (3.1. tab., 3.1., 3.2. att.). Savukārt, pēdējās desmitgades iezīmējas ar sezonālām izmaiņām kopējā upju notecē. Vidējos platuma grādos, kur hidroloģisko režīmu galvenokārt nosaka sniega uzkrāšanās un kušana (Sarma, 1960), tiek novērotas būtiskas izmaiņas upju hidrogrāfos tieši ziemas un pavasara sezonās. Lai arī pētījuma rezultāti periodā no 1988. – 2009. gadam uzrāda, ka no kopējās gada noteces joprojām lielākais noteces apjoms veidojas pavasara sezonā, tomēr pēc iegūtajiem rezultātiem novērojama tendence notecei palielināties janvārī un februārī un samazināties aprīlī un maijā (3.1., 3.2. tab.). Nebūtiskas izmaiņas vērojamas vasaras sezonā. Savukārt rudens sezonā vērojama neliela noteces samazināšanās (vidēji par 2 procentpunktiem) (3.3. tab.), kas varētu būt saistīts ar siltākiem rudeniem, lielāku iztvaikošanu un nokrišņu daudzuma samazināšanos (ievērojami tieši septembrī) (Briede and Lizuma, 2007), jo, kā norāda A. Reihana un līdzautori (Reihan *et al.*, 2007), pārmaiņas upju sezonālajā notecē atspoguļo arī novēroto atmosfēras nokrišņu un gaisa temperatūras sezonālā rakstura izmaiņu tendences Baltijas valstīs.

Rietumu hidroloģiskajā rajonā jau periodā no 1951. – 1987. gadam bija raksturīgi, ka upēs var neizveidoties ziemas mazūdens periods, līdz ar to lielāks procents no kopējās gada upju noteces veidojas ziemā (līdz 30 %), savukārt pavasara plūdu hidrogrāfam ir raksturīgs straujš pieaugums un samazināšanās, kā arī plūdi novērojami īsāku laika posmā (3.3. att.), ko ietekmē arī mazāks sniega segas biežums. Pārējos hidroloģiskajos rajonos šī tendence parādās pēc 1990-ajiem gadiem siltajās ziemās un īpaši tajās upēs, kas atrodas tuvāk jūras piekrastei. Austrumu un ziemeļu hidroloģiskajā rajonā upju noteces pieaugums ziemā un samazināšanās pavasarī ir vairāk pakāpeniskāka (attiecīgi 3 – 5,5 procentpunkti un 3 – 9 procentpunkti) (3.3. tab.). Lielākās izmaiņas novērojamas tieši centrālajā hidroloģiskajā rajonā, kur upju notece ziemā, jo īpaši janvārī un februārī, palielinājusies par 15 procentpunktiem, bet, par 13 procentpunktiem samazinājusies pavasarī, jo īpaši aprīlī un maijā (3.2., 3.3. tab.). To ietekmē ne tikai ģeoloģiskie apstākļi (lielāko daļu upes noteces veido virszemes notece, pazemes ūdeņu loma ir niecīga) (Глазачева, 1980), bet arī klimatiskie apstākļi. Kā norāda A. Reihana u.c., A.J. Bavdens u.c., O.I. Abduls Azizs un D.H. Burns, kā arī J. Korhonen un E. Kuusisto (Reihan *et al.*, 2007; Bawden *et al.*, 2014; Abdul Aziz and Burn, 2006; Korhonen and Kuusisto, 2010), izmaiņas upju hidroloģiskajā režīmā galvenokārt izraisa izmaiņas klimatiskajos apstākļos. Centrālajā hidroloģiskajā rajonā tieši klimata izmaiņu ietekme izpaužas visjūtāmāk ziemas – pavasara sezonā, nekā

salīdzinot ar citiem hidroloģiskajiem rajoniem, jo, kā norāda M. Kļaviņš u.c. (Kļaviņš *et al.*, 2002b) meteoroloģiskajiem procesiem, kas norisinās Ziemeļatlantijas okeānā un Baltijas jūrā, ir lielāka ietekme tieši uz hidroloģisko režīmu rietumu un centrālajā hidroloģiskā rajonā, nekā salīdzinot ar citiem Latvijas hidroloģiskajiem rajoniem, jo īpaši salīdzinājumā ar austrumu hidroloģisko rajonu. Kopumā klimatiskie apstākļi centrālajā hidroloģiskajā rajonā veido, kā pārejas teritoriju starp rietumu un austrumu hidroloģiskā rajona klimatiskajiem apstākļiem un tie galvenokārt nosaka arī hidroloģiskā režīma īpatnības šajā reģionā, piemēram, pavasara plūdi upēs sākas vēlāk nekā rietumu rajonā, bet notece ziemā ir augstāka nekā salīdzinājumā ar austrumu un ziemeļu hidroloģiskajiem rajoniem (3.3. att.).

Arī citi pētījumi norāda uz statistiski būtisku saistību starp klimatiskajiem apstākļiem un noteci. Piemēram, pētījumos Baltijas valstīs (Reihan *et al.*, 2007; Kriaučiūnienē *et al.*, 2007), Skandināvijā (Hisdal *et al.*, 2003; Thorsteinsson and Björnsson, 2011), Eiropā (Ludwig *et al.*, 2004; Birsan *et al.*, 2005; Morán-Tejeda *et al.*, 2011) un Ziemeļamerikā (Abdul Aziz and Burn, 2006; Bawden *et al.*, 2014) saistība starp gaisa temperatūru, atmosfēras nokrišņiem un noteci un šo lielumu statistiski ticams pieauguma trends vērojams tieši ziemas sezonā. L. Lizumas u.c. (Lizuma *et al.*, 2007) pētījums Latvijā arī norāda uz klimata izmaiņām 20. gs. un to, ka gaisa temperatūras izmaiņas galvenokārt ietekmē divi procesi: globālā pasiltināšanās un izmaiņas urbanizētajā vidē. Latvijā pēdējos 50 gados gada vidējā gaisa temperatūra palielinājusies par 1,4 °C un pētījuma periodā no 1950. – 2003. gadam lielākais vidējās gaisa temperatūras pieaugums novērots pavasarī (marts, aprīlis, maijs) un ziemas sākumā (novembris, decembris) (Lizuma *et al.*, 2007). Arī vidējā maksimālā gaisa temperatūra straujāk pieaugusi aprīlī un maijā, kamēr vidējā minimālā temperatūra palielinājusies ziemas sezonā (Lizuma *et al.*, 2007). Arī M. Kļaviņš un līdzautori (Kļaviņš *et al.*, 2009) norāda, ka gaisa temperatūras pieaugums nav vienmērīgs visa gada garumā, bet tam raksturīgas izteiktas sezonāla rakstura izmaiņas. Līdzīgi kā L. Lizumas u.c. (Lizuma *et al.*, 2007) pētījumā, arī M. Kļaviņš u.c. (Kļaviņš *et al.*, 2009) norāda, ka lielākais gaisa temperatūras pieaugums periodā no 1795. – 2002. gadam attiecīgi par 2,1 un 1,9 °C vērojams pavasara un ziemas sezonās, neliela gaisa temperatūras palielināšanās par 0,5 °C vērojama rudenī, bet izmaiņas nav vērojamas gaisa temperatūrā vasaras sezonā. Turklāt ievērojamākais gaisa temperatūras pieaugums ziemas un pavasara sezonā ir novērojams sākot ar 1970-ajiem gadiem (Kļaviņš *et al.*, 2009). Gan A. Briedes un L. Lizumas (Briede and Lizuma, 2007) pētījums par periodu no 1950. – 2003. gadam, gan L. Lizumas u.c. (Lizumas *et al.*, 2010) pētījums par periodu no 1851. – 2006. gadam norāda uz pieaugošu trendu arī atmosfēras nokrišņiem aukstajā sezonā (decembris – marts), nebūtiskām izmaiņām pavasarī un vasarā, savukārt rudenī (septembris – oktobris) vērojams negatīvs trends. Nokrišņu daudzuma mainības izvērtējums parāda, ka gaisa masu pārnese no Atlantijas okeāna, kuras intensitāti var aprakstīt, izmantojot Ziemeļatlantijas Oscilācijas indeksu, ir uzskatāma par galveno faktoru, kas nosaka izteiktu un būtisku nokrišņu daudzuma pieaugumu tieši gada aukstajos mēnešos (Kļaviņš u.c., 2008; Kļaviņš *et al.*, 2009). Arī promocijas darbā iegūtie rezultāti par upju noteces mainību sakrīt ar gaisa temperatūras un atmosfēras nokrišņu mainības sezonālo raksturu – aukstajā sezonā (decembris – marts) palielinās gaisa temperatūra un pieaug atmosfēras nokrišņu daudzums. Salīdzinot izmaiņas upju notecē kopumā un starp hidroloģiskajiem rajoniem (3.4. tab.), tad statistiski ticama negatīva tendence parādās tieši aprīlī (galvenokārt centrālajā un ziemeļu hidroloģiskajā rajonā, bet statistiski ticams pieaugums konstatēts janvārī un februārī, kā arī martā. Centrālajā un rietumu rajonā upju notece vairāk palielinās janvārī un februārī, savukārt

austrumu un ziemeļu hidroloģiskajā rajonā pieaugums vērojams janvārī, februārī un arī martā. Statistiski nenozīmīgas izmaiņas vērojamas vasaras un rudens mēnešos.

Līdzīgas ilgtermiņa izmaiņas gaisa temperatūrā un atmosfēras nokrišņos pagājušajā gadsimtā konstatētas arī pārējās Baltijas valstīs (Jaagus, 2006; Reihan *et al.*, 2007; Bukantis, 2007), Skandināvijā (Hisdal *et al.*, 2003; Korhonen and Kuusisto, 2010; Thorsteinsson and Björnsson, 2011) un Baltijas jūras sateces baseinā kopumā (Bolle *et al.*, 2008).

Arī pasaulē veikto pētījumu rezultāti par izmaiņām gada kopējā upju notecē ziemeļu puslodē saskan ar promocijas darbā iegūtajiem rezultātiem. Piemēram, Kanādā veiktajos pētījumos Makenzi un Atabaskas upēs (Abdul Aziz and Burn, 2006; Bawden *et al.*, 2014) novērojams statistiski ticams pozitīvs trends ziemas notecē, kā arī pavasara maksimālā caurplūduma pīķa samazināšanās un tā agrāka novērošana. Līdzīgi rezultāti parādās arī pētījumos Eiropas valstīs. Šveicē, laika posmā no 1961. – 2000. gadam aukstajā periodā palielinoties dienu skaitam, kad gaisa temperatūra novērojama virs 0°C, pieaugusi gan vidējā, gan maksimālā notece tieši ziemas sezonā (Birsan *et al.*, 2005). Tomēr jāatzīmē, ka Šveices teritorijā vērojams noteces pieaugums arī pavasara un rudens sezonā, līdz ar to vērojams arī kopējās gada noteces pieaugums un, kā norāda M.V. Birsans un līdzautori (Birsan *et al.*, 2005), tas galvenokārt saistāms ar vidējās gaisa temperatūras un atmosfēras nokrišņu daudzuma pieaugumu. Arī Francijā veiktajā pētījumā tiek norādīts uz statistiski ticamu noteces palielināšanos ziemas sezonā, it īpaši decembrī, un līdz ar to pēdējās desmitgadēs aizvien biežāk ziemas periodā novērojami plūdu draudi (Ludwig *et al.*, 2004). E. Moràn-Tejeda un līdzautori (Moràn-Tejeda *et al.*, 2011) Vidusjūras reģiona noteces režīmu raksturo kā ļoti jutīgu uz notiekošajām klimata pārmaiņām – nokrišņu daudzuma samazināšanos un gaisa temperatūras pieaugumu šajā teritorijā, tomēr lielākās pārmaiņas joprojām saistāmas ar ziemas un pavasara sezonām. Kaut arī ziemā netiek novērota ievērojama noteces daudzuma palielināšanās, tomēr, līdzīgi kā promocijas darbā iegūtajos rezultātos, vērojama noteces daudzuma samazināšanās pavasarī un maksimālā caurplūduma pīķis no februāra vai marta pārvirzās uz janvāri un samazinās tā lielums (Moràn-Tejeda *et al.*, 2011).

Mazūdens periodi Latvijas upēs vērojami ziemā un vasarā, kas galvenokārt saistīti ar pazemes ūdeņu pieplūdi, kas ir atkarīga no baseina ģeomorfoloģiskajiem un hidroģeoloģiskajiem apstākļiem (Sarma, 1960). Ziemas mazūdens periods iestājas bargās ziemās pēc ledus segas izveidošanās un turpinās līdz palīem. Dažās ziemās, ar atkārtotiem atkušņiem, kas īpaši raksturīgi Latvijas rietumdaļai, mazūdens periods vispār neiestājas. Arī vasaras mazūdens periodi var būt atšķirīgi un, ja nav izteiktu lietus periodu, vasaras mazūdens periods ilgst no pavasara palīem līdz rudens plūdiem, turpretī lietainās vasarās mazūdens periods var neiestāties (Dingman, 2008).

Daudzūdens periods raksturojas ar gada lielāko ūdenīgumu, ilgstoši augstiem ūdens līmeņiem un parasti arī palieņu applūšanu (Sarma, 1960). Latvijā daudzūdens periodu raksturo pali, parasti pavasarī sniega kušanas laikā (martā – aprīlī). Palu augstos līmeņus rada gan intensīva ūdeņu pieplūde no baseina, gan ledus sastrēgumi un vižņu sablīvējumi (Dingman, 2008).

Analizējot gada vidējo, mazūdens perioda un daudzūdens perioda noteci, tad pētījuma rezultāti norāda uz to, ka vairumā gadījumu nav novērojamas statistiski nozīmīgas izmaiņas saistībā ar gada vidējo un vasaras 30 dienu minimālo caurplūdumu, taču statistiski būtiskas izmaiņas vērojamas saistībā ar ziemas 30 dienu minimālo caurplūdumu (pozitīvs trends) un maksimālo caurplūdumu (negatīvs trends) (3.5. tab., 3.4. att., 3. pielikums). Ziemas 30 dienu minimālā caurplūduma pieaugums, kā jau iepriekš minēts, atbilst mēnešiem ar lielāko gaisa temperatūras un atmosfēras nokrišņu

daudzuma pieaugumu (Briede and Lizuma, 2007; Lizuma *et al.*, 2007; Lizuma *et al.*, 2010), turklāt ziemas caurplūdumi īpaši būtiski ir palielinājušies pēdējo gadu desmitu laikā, uz ko pētījumos norāda arī M. Kļaviņš un līdzautori (Kļaviņš u.c., 2008; Kļaviņš *et al.*, 2009). Lielākajā daļā gadījumu pētījuma rezultāti saskan arī ar citiem Baltijas valstu pētījumiem, piemēram, A. Reihanas u.c. (Reihan *et al.*, 2007) pētījumu par periodu no 1961. – 2003. gadam. A. Reihanas u.c. (Reihan *et al.*, 2007) pētījumā tika konstatēts, ka lielākajā daļā Lietuvas un Latvijas teritorijas nav novērojams trends 30 dienu vasaras minimālajiem caurplūdiem, savukārt negatīvs trends pavasara maksimālo plūdu laikā novērots Baltijas valstu kontinentālākajos reģionos. Pretrunā ar promocijas darbā iegūtajiem rezultātiem, saistībā ar ikgadēji vidējo caurplūdumu A. Reihana u.c. (Reihan *et al.*, 2007) norāda uz statistiski ticamu pozitīvu trendu Igaunijā, kā arī daļā Latvijas. Taču kopumā A. Reihana u.c. (Reihan *et al.*, 2007) norāda uz pavasara plūdu samazināšanos un agrāku to sākšanos, kas saistīts galvenokārt ar gaisa temperatūras pieaugumu ziemas sezonā un agrāku ledus iešanu upēs. Gaisa temperatūras paaugstināšanās ietekmē ūdens daudzums sniega segā samazinās, kā arī negatīvi tiek ietekmēti dienu skaits ar sniega segu un ledus segu kopumā, tādējādi samazinot arī maksimālā caurplūdiņa apjomu (Reihan *et al.*, 2007). Arī Kanādas rietumdaļā maksimālajam caurplūdiņam vērojams negatīvs trends un, palielinoties notecei ziemas sezonā, palielinās arī 30 dienu minimālie ziemas caurplūdiņi, taču atšķirībā no promocijas darbā iegūtajiem rezultātiem, vasaras 30 dienu minimālajiem caurplūdiņiem ir novērojams negatīvs trends (Bawden *et al.*, 2014). Latvijas teritorijā vasaras sezonā nav konstatētas būtiskas izmaiņas atmosfēras nokrišņos un gaisa temperatūrā (Lizuma *et al.*, 2010; Kļaviņš *et al.*, 2009), līdz ar to arī vasaras 30 dienu minimālajos caurplūdiņos nav vērojamas būtiskas izmaiņas.

Kopumā sagaidāms, ka klimata mainības rezultātā kopējā gada upju notecē sagaidāmas sezonālas un reģionālas izmaiņas, jo īpaši reģionālo atšķirību samazināšanās starp rietumu un ziemeļu hidroloģiskajiem rajoniem un centrālo un austrumu hidroloģisko rajonu. Pārmaiņas galvenokārt būs saistītas ar pavasara maksimumu samazināšanos un agrāku iestāšanos, ievērojamu ziemas noteces palielināšanos un nebūtiskām izmaiņām vasaras un rudens notecē.

#### 4.1.2. Upju ūdens notece nākotnes klimata apstākļos

HBV hidroloģiskais modelis kalibrēts (periods no 1961. – 1990. gadam) un validēts (periods no 1991. – 2000. gadam) sešiem pētāmajiem upju baseiniem (Salacas, Vienziemītes, Iecavas, Bērzes Imulas un Dursupes). Pēc iegūtajiem kalibrācijas un validācijas rezultātiem, kā arī, ņemot vērā izmantoto novērojumu staciju skaitu, redzams, ka tajos upju baseinos, kuros pielietots lielāks novērojumu staciju skaits un kuros ir viendabīgāki dati, iegūtas augstākas statistiskā kritērija vērtības, piemēram, Bērzes un Salacas upju baseinos (attiecīgi  $R^2 = 0,82; 0,80$ ) (3.6. tab., 3.5. att.). Tas nozīmē, ka lielāks novērojumu staciju skaits spēj daudz labāk atspoguļot gan temperatūras, gan atmosfēras nokrišņu daudzuma sadalījumu, kā arī ļauj precīzāk pielāgot modeļa parametra vērtības upes baseinā un iegūt augstāku modelēto un faktisko caurplūdiņu sakritību. Svarīga ir arī ievades datu kvalitāte, kas arī var izraisīt atšķirības starp modelētajiem un faktiskajiem caurplūdiņiem. Analizējot nokrišņu daudzuma viendabīgumu tika iegūti labi homogenitātes analīžu rezultāti (3.6. att.), tomēr atsevišķos gadījumos atmosfēras nokrišņu datu kvalitāte varēja būt labāka (piemēram, Iecavas un Dursupes gadījumos).

Izanalizējot un salīdzinot HBV hidroloģiskā modeļa kalibrācijas rezultātus un iegūtos upju noteces rezultātus ar METQ2007BDOPT modeli šajos pašos upju baseinos (Apsīte *et al.*, 2011), redzams, ka ar HBV modeli nedaudz labāki rezultāti iegūti 3 upju baseinos (Imulas, Bērzes un Iecavas), vienādi rezultāti iegūti Salacas baseinā, bet nedaudz zemāks rezultāts iegūts Vienziemītes upes baseinā (3.6. tab.). Salīdzinot novēroto un modelēto hidrogrāfu, tad abiem hidroloģiskajiem modeļiem raksturīgs, ka iegūtais modelētais hidrogrāfs ir nedaudz izlīdzināts, jo maksimālie caurplūduma pīķi bija samazināti, bet mazūdens perioda notece savukārt nedaudz palielināta (3.5. att.). Labi kalibrēšanas rezultāti tika iegūti gan mazo, gan lielo upju baseinos, kalibrācijas periodam esot no 11 – 30 gadiem, tādējādi ļaujot izmantot HBV hidroloģisko modeli turpmākā pētījumā un apstiprinās hipotēze, ka HBV modeļa pielietošana ļauj prognozēt upju ūdens noteci nākotnes klimata apstākļos Latvijas upju baseinos.

Lai arī Latvijas teritorija ir salīdzinoši neliela, iegūtie pētījuma rezultāti parādīja, ka tomēr būs novērojamas reģionālas atšķirības gan meteoroloģiskajos parametros (3.7., 3.8., 3.9. tab.), gan hidroloģiskajos parametros (3.10., 3.11. tab.) saistībā ar klimata izmaiņām 21. gadsimta beigās. Šīs atšķirības galvenokārt nosaka prognozētās gaisa temperatūras un nokrišņu daudzuma atšķirības klimata izmaiņu scenārijos un izmantotie globālie un reģionālie klimata modeļi.

Salīdzinot promocijas darbā iegūtos rezultātus (3.7., 3.8. att.) ar citiem Baltijas jūras sateces baseina dienvidaustrumu daļā veiktajiem pētījumiem, kuros klimata datu sērijas ņemtas no RCAO reģionālā klimata modeļa (RCM), redzams, ka tie principā saskan gan ar citu Baltijas valstu veiktajiem pētījumiem (Kriaučiūniene *et al.*, 2008; Kilkus *et al.*, 2006; Jārvet, 2003), gan arī jau iepriekš Latvijā veiktiem pētījumiem (Butina *et al.*, 1998; Rogozova, 2006; Bethers and Seņņikovs, 2009; Kurpniece *et al.*, 2010; Apsīte *et al.*, 2010; Apsīte *et al.*, 2011).

J. Kriaučiūnienes u.c. (Kriaučiūniene *et al.*, 2008) pētījums par Nemunas baseina upēm, hidroloģiskajā modelēšanā izmantojot HBV modeli un izmantojot klimata datu sērijas no 2 globālajiem klimata modeļiem – ECHAM5 un HadCM3 un 3 nākotnes klimata scenārijus (A1B, A2 un B1) 5 pētījuma periodiem no 2011. – 2100. gadam, apstiprina noteces apjoma pieaugumu ziemas sezonā un samazinājumu pavasarī un kopējās noteces samazināšanos. Kaut arī izmantoti atšķirīgi nākotnes klimata scenāriji, tomēr arī Lietuvā tiek prognozēta ziemas noteces palielināšanās, pateicoties atmosfēras nokrišņu daudzuma pieaugumam laikā, kad iztvaikošana nav liela. Būtisks samazinājums tiek novērots gan kopējā pavasara notecē, gan pavasara maksimālajā caurplūdamā. Gan pieauguma, gan samazinājuma trends notecē tiek prognozēts vasaras un rudens notecē (Kriaučiūniene *et al.*, 2008). Taču, piemēram, nedaudz senākā pētījumā K. Kilkus u.c. (Kilkus *et al.*, 2006), izmantojot WatBal hidroloģisko modeli un ECHAM GCM, prognozē kopējo noteces apjoma pieaugumu, taču jebkurā gadījumā iezīmējas pavasara noteces apjoma samazināšanās, līdzīgi kā promocijas darbā iegūtajos rezultātos. Arī A. Jārveta veiktais pētījums (Jārvet, 2003) Igaunijā, kurā tāpat izmantots WatBal hidroloģiskais modelis un ECHAM GCM, apstiprina kopējās noteces pieaugums, taču iezīmē pavasara noteces samazinājums. Tādējādi var secināt, ka, izmantojot dažādus globālos klimata modeļus un hidroloģiskos modeļus, var iegūt tomēr arī nedaudz atšķirīgus rezultātus.

Ja salīdzina Latvijā veiktos pētījumus ar promocijas darba rezultātiem, tad redzams, ka, attiecībā uz senāk veiktiem pētījumiem (Butina *et al.*, 1998; Rogozova, 2006), rezultātu atšķirības ir lielākas (abi pētījumi apstiprina noteces pieaugumu). S. Rogozovas (2006) veiktajā pētījumā Irbes un Gaujas baseinā, izmantojot ECHAM4/OPYC3 GCM prognozēts noteces pieaugums par 15 – 17 %, bet izmantojot

HadAM3H GCM noteces samazinājums par 2 – 7 %. Protams, jāņem vērā fakts, ka šajos pētījumos izmantoti citi globālā un reģionālā klimata modeļi un scenāriji, kas var radīt atšķirības galarezultātos, taču nevar noliegt, ka jebkurā gadījumā iezīmējas arī kāda kopīga tendence – pavasara noteces apjoma samazināšanās (Rogozova, 2006).

Būtiskas rezultātu atšķirības nav vērojamas, ja salīdzina U. Betheru un J. Seņņikovu (Bethers and Seņņikovs, 2009), kā arī E. Apsītes u.c. (Apsīte *et al.*, 2010; Apsīte *et al.*, 2011) pētījumus, kuros gan izmantoti dažādi hidroloģiskie modeļi, taču ir vienādi GCM un RCM modeļi, ar promocijas darba rezultātiem. U. Betheru un J. Seņņikovu (Bethers and Seņņikovs, 2009) pētījumā izmaiņas upju notecē prognozētas pēc A2 scenārija, izmantojot „MIKE Basin” hidroloģisko modeli 4 upju baseiniem (Abavai, Bērzei, Salacai un Dubnai) un iegūtie rezultāti norāda, gan uz kopējās upju noteces samazināšanos (bet ne vairāk kā par 25 %), gan maksimālās noteces samazināšanos (bet ne vairāk kā par 20 %), kā arī uz to, ka upju notecē reģionālās atšķirības Latvijas teritorijā kļūs mazākas.

Detalizētāka klimatisko un hidroloģisko parametru izmaiņu analīze veikta E. Apsītes un līdzautoru veiktajā pētījumā (Apsīte *et al.*, 2011) tajos pašos upju baseinos, kas pētīti promocijas darbā, izņemot Dursupes baseinu. Hidroloģiskā modelēšana veikta ar METQ2007BDOPT modeli, kas tāpat kā HBV modelis ietilpst konceptuālo lietusnoteces modeļu grupā. Kopumā promocijas darbā tika iegūtas tādas pašas tendences hidroklimatiskajiem datiem gan sezonālā, gan gada griezumā (3.7.; 3.8.; 3.9.; 3.10.; 3.11. tab.), kā arī attiecībā uz reģionālajām atšķirībām. Taču atšķirībā no promocijas darba rezultātiem, E. Apsītes u.c. pētījumā (Apsīte *et al.*, 2011) prognozētas augstākas gada vidējās iztvaikošanas vērtības (37 – 41 % pēc A2 scenārija un 20 – 24 % pēc B2 scenārija) un daudz būtiskākas izmaiņas upju notecē gada otrajā pusē – vasarā un rudenī. Tas varētu būt skaidrojams ar faktu, ka iztvaikošanas datu aprēķināšanā izmantotas atšķirīgas pieejas, kā arī izmantoti dažādi hidroloģiskie modeļi. Tas varētu izskaidrot arī nedaudz augstākās prognozētās noteces samazināšanās procentuālās vērtības E. Apsītes u.c. (Apsītes *et al.*, 2011) pētījumā, kurā pēc A2 scenārija prognozēta noteces samazināšanās par 13 – 24 %, bet pēc B2 scenārija par 2 – 11 %.

Nedaudz atšķirīgi ir rezultāti, ja salīdzina L. Kurpnieces u.c. (Kurpniece *et al.*, 2010) pētījumu par Aiviekstes un Daugavas upju baseiniem, kuros prognozēts diezgan ievērojams kopējās noteces apjoma pieaugums. L. Kurpnieces un līdzautoru pētījumā (Kurpniece *et al.*, 2010) nākotnes klimata prognozes balstītas uz Dānijas meteoroloģijas institūta HIRLAM-ECHAM5, Norvēģijas meteoroloģiskā institūta HIRLAM-HadCM3 un Zviedrijas meteoroloģiskā un hidroloģiskā institūta RCA3-BMC klimata modeļiem un A1B nākotnes emisiju scenāriju laika periodam no 2021. – 2050. gadam. HBV modelis kalibrēts un validēts Aiviekstes un Daugavas upju baseiniem uz Pļaviņu HES. Iegūtie rezultāti uzrādīja, ka periodā no 2021. – 2050. gadam kopējā gada notece varētu palielināties par 19 – 27 % un ievērojamākās izmaiņas saistītas ar ziemas sezonu (pieaugums par 30 – 70 %) (Kurpniece *et al.*, 2010). Pavasarī – aprīlī un maijā, prognozēta noteces samazināšanās par 6 – 39 %, izņemot gadījumu, kad pielietots RCA3-BMC klimata modelis, kas norāda uz nelielu notece pieaugumu Daugavā aprīlī. Salīdzinot ar promocijas rezultātiem, arī šajā gadījumā var ņemt vērā faktu, ka izmantoti dažādi GCM un RCM, jo tomēr atšķiras nokrišņu daudzuma izmaiņas pēc dažādiem GCM un nākotnes scenārijiem. Taču nemainīga tendence ir ziemas sezonas noteces pieaugums un pavasara noteces samazinājums.

Visi iepriekšminētie pētījumi norāda, ka upju noteces palielināšanās būtiska būs tieši ziemā, samazinot ledus un sniega segas periodu, kā arī pavasara noteces maksimums būs novērojams agrākā laikā, tomēr vērojamas dažādas prognozes par gada

kopējo upju noteci – tiek prognozēta gan noteces samazināšanās, gan noteces pieaugums. Taču tajos pētījumos, kur izmantoti vienādi globālie un reģionālie klimata modeļi, iegūtie rezultāti ir līdzīgi un atbilst arī promocijas darbā iegūtajiem rezultātiem.

## 4.2. Upju virsējā slāņa ūdens temperatūra

Upju termiskais režīms ir atkarīgs no klimatiskajiem apstākļiem, vispirms no Saules radiācijas (tāpēc ūdens temperatūras gada gaita līdzīga gaisa temperatūras gada gaitai) un arī no ūdensguves, turklāt sevišķi liela ietekme ir pazemes ūdeņiem. Ziemā lielākajā daļā upju ūdens temperatūra pazeminās līdz 0 °C, savukārt vasarā vērojami lieli temperatūras kontrasti. Piemēram, jūlijā dažādās Latvijas upēs starpība ilggadīgi vidējā ūdens temperatūrā var sasniegt 8 – 9 °C (Glazačeva, 1975). Latvijas upju ūdeņu termiskā režīma veidošanā ļoti liela nozīme ir ne tikai klimatam, bet arī reljefam, upes baseina ģeoloģiskajai uzbūvei un hidroģeoloģijai (Глазачева, 1967).

Analizējot ilggadīgi vidējo ūdens temperatūru, redzams, ka lielajās Latvijas upēs tā ir augstāka nekā vidējās un mazajās Latvijas upēs (3.12. tab., 3.10., 3.11. att.). Arī L. Glazačeva (Глазачева, 1980) norāda, ka siltajā sezonā vissiltākais ūdens ir Daugavā un tās pietekās Aiviekstē un Dubnā, arī Ventā, Lielupē, Mēmelē un Mūsā, kā arī daudzās citās līdzenumu mazajās upēs, kuru gultnes ir seklas un ir neliels pazemes ūdeņu pieplūdums. Turklāt, kā liecina, piemēram, Lietuvā veiktais pētījums par ūdens temperatūras sadalījumu (Jurgelēnaitē *et al.*, 2012), tad arī Lietuvā lielākoties visās lielajās upēs ūdens temperatūra ir augstāka nekā mazajās upēs. Latvijas teritorijā ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra lielajās upēs variē no 14,7 – 16,1 °C (3.12. tab.), bet Lietuvas teritorijā šie rādītāji ir nedaudz augstāki un ir robežās no 15,0 – 16,2 °C (Jurgelēnaitē *et al.*, 2012). Attiecībā uz vidējām un mazajās upēm, tad Latvijas austrumdaļā, kā arī Latvijas centrālajā daļā ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra ir augstāka (14,2 – 15,7 °C) nekā, piemēram, upēm Latvijas rietumdaļā, kas plūst no Rietumkursas augstienes rietumu nogāzēm (13,6 – 13,8 °C) un upēm Vidzemes augstienes rietumu (Amata u.c.) un austrumu (Tirza u.c.) nogāzēm (11,5 – 13,1 °C), kā arī no Alūksnes augstienes (Vaidava, Pededze u.c.) (12,0 – 13,5 °C) (3.12. tab.). Arī Lietuvas teritorijā A. Jurgelēnaites u.c. (Jurgelēnaitē *et al.*, 2012) veiktajā pētījumā upēm, kas plūst no Žemaitijas augstienes, kā arī Augštaitijas augstienes rietumu nogāzēm tika konstatēta zemāka ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra. Kā minēts A. Jurgelēnaites u.c. (Jurgelēnaitē *et al.*, 2012) pētījumā, tad tas varētu būt izskaidrojams ar to, ka smilšainākā upes sateces baseinā pavasara sniega kušanas ūdeņi daudz vairāk papildina pazemes ūdeņus, no kuriem vēlāk notiek upju barošanās, jo smilšainām augsnēm ir daudz lielāks infiltrācijas ātrums, kas ļauj sniega kušanas ūdeņiem daudz vairāk papildināt pazemes ūdeņu krājumus. Arī L. Glazačeva (Глазачева, 1967) norāda, ka, tekot no augstienēm, upēs ūdens ir vēsāks, jo upēs ieplūst pazemes ūdeņi, taču tikai tajos gadījumos, kad pazemes ūdeņi pieplūst no zemākajiem ūdens nesējslāņiem, jo no augšējā un vidējā ūdens nesējslāņa upēs ieplūst 7 – 8 °C silti pazemes ūdeņi, kas būtisku ietekmi uz upes ūdens temperatūru neatstāj.

Tāpat pētījumā iegūti rezultāti, kas liecina, ka daudzos gadījumos notiek upju ūdens temperatūras izmaiņas lejup pa straumi: upes augštecē tā ir zemāka un palielinās virzienā uz lejteci. Vislabāk tas novērojams Lielupē, Gaujā, kā arī Aiviekstes upē (3.12. tab.). Līdzīgi rezultāti iegūti arī A. Jurgelēnaites u.c. (Jurgelēnaitē *et al.*, 2012) pētījumā, kur visās pētījumā aplūkotajās upēs, uz kurām bija divas vai vairākas novērojumu stacijas, upju ūdens temperatūra augstāka ir novērojumu stacijās, kas

atrodas lejup pa teci. Turklāt, salīdzinot ūdens temperatūru upes pietekās, tika konstatēts, ka pietekās, kas atrodas tālāk no upes augšteces, temperatūra ir augstāka. Arī P. Pekarovas u.c. (Pekarova *et al.*, 2011) veiktajā pētījumā par Belas upi Slovērijas ziemeļu daļā konstatētas ūdens temperatūras izmaiņas lejup pa straumi. Ūdens temperatūras paaugstināšanās lejup pa straumi izskaidrojama ar to, ka, ūdenim pārvietojoties lejup, berzes dēļ tiek iegūta siltumenerģija, turklāt papildus tiek saņemts ūdens arī no upes pietekām (Hammond and Pryce, 2007).

Analizējot Mann-Kendall testa rezultātus, vidējai ūdens temperatūrai tika novērots galvenokārt pozitīvs trends, turklāt vairāk nekā 20 % gadījumu trends bija statistiski ticams (3.13. tab.). Arī Lietuvā A. Jurgelēnaites u.c. (Jurgelēnaitē *et al.*, 2012) pētījumā par laika periodu no 1945. – 2010. gadam 41 novērojumu stacijā 15 % gadījumu konstatēts statistiski ticams ūdens temperatūras pieaugums un kā galvenais iemesls tiek minēts gaisa temperatūras pieaugums. Turklāt, kā liecina pasaulē veiktie pētījumi (Liu *et al.*, 2005; Webb and Nobilis, 2007; Pekarova *et al.*, 2008; Arai, 2009; Prats *et al.*, 2010; Kaushal *et al.*, 2010; Pekarova *et al.*, 2011; Toone *et al.*, 2011; Van Vliet *et al.*, 2011; Floury *et al.*, 2012; Dickson *et al.*, 2012; Xin and Kinouchi, 2013; Garner *et al.*, 2014; Orr *et al.*, 2015; Gebre *et al.*, 2014), tad ūdens temperatūras paaugstināšanās upēs vērojama visos pasaules reģionos tieši pateicoties gaisa temperatūras pieaugumam. Ziemeļamerikā veiktajos pētījumos par ūdens temperatūrām lielākajās Amerikas Savienoto Valstu upēs tika konstatēta ūdens temperatūras paaugstināšanās 20. gadsimtā par 0,009 – 0,07 °C (Kaushal *et al.*, 2010), savukārt Kanādā veiktajā pētījumā par 0,02 °C (Morisson *et al.*, 2002). Eiropas dienviddaļā Pireneju pussalas otrajā garākajā upē Ebro, kas atrodas Spānijas ziemeļaustrumos, konstatēta ūdens temperatūras paaugstināšanās par 2,3 °C (1955. – 2000. gads), taču, kā minēts pētījumā, tad ūdens temperatūra upē tiek ietekmēta ne vien no atmosfēras apstākļiem un samazinātās upes noteces, bet ūdens temperatūras pieaugumu lielā mērā ietekmējuši arī uz upes uzceltie aizsprosti, kā arī upes krastos esošā atomelektrostacija (Prats *et al.*, 2010). Arī Francijas garākajā upē Luārā novērojams ūdens temperatūras pieaugums par ~ 1,2 °C (1977. – 2008. gads), turklāt lielākā ūdens temperatūras paaugstināšanās novērojama tieši periodā no maija līdz augustam. Britu salu reģionā (Anglijā un Velsā) H.G. Orrs u.c. (Orr *et al.*, 2015) konstatējuši ūdens temperatūras pieaugumu par 0,03 °C (1990. – 2006. gads). Savukārt Slovērijā Tatra reģionā P. Pekarovas u.c. (Pekarova *et al.*, 2008) pētījumā Donavā ūdens temperatūras paaugstināšanās novērojama par 0,6 °C (1926. – 2005. gads), bet Belas upē par 0,12 °C (1959. – 2008. gads) (Pekarova *et al.*, 2011). Turklāt P. Pekarova u.c. (Pekarova *et al.*, 2008) savā pētījumā norāda uz to, ka pieaugošs ūdens temperatūras trends konkrēti Slovērijas ziemeļdaļas upēs nav novērojams līdz 1970. gadam un ūdens temperatūras paaugstināšanās vērojama galvenokārt pēdējo 40 gadu laikā, kas saskan ar M. Kļaviņa u.c. (Kļaviņš *et al.*, 2009) veikto pētījumu, ka arī Latvijā ievērojamākais gaisa temperatūras pieaugums ir novērojams sākot ar 1970-ajiem gadiem. Un, kā uzsver M.T.H Van Vliets u.c. (Van Vliet *et al.*, 2011), tad būtiskākā atmosfēras iedarbība uz ūdens temperatūru novērojama tieši karstuma viļņu un sausuma periodos un veicot pētījumus pasaules lielākajās upēs (laika periods no 1980. – 1999. gadam), tika konstatēta sakarība, ka pieaugot gaisa temperatūrai par 2 °C ūdens temperatūra paaugstinās par 1,3 °C, ja gaisa temperatūra paaugstinās par 4 °C, tad ūdens temperatūra par 2,6 °C, bet ja gaisa temperatūra paaugstinās par 6 °C, tad ūdens temperatūra attiecīgi par 3,8 °C. Tāpat, ņemot vērā arī noteces samazināšanos, tika konstatēts, ka pieaugot gaisa temperatūrai par 4 °C, bet notecei samazinoties par 40 %, ūdens temperatūra var pieaugt pat par 6 °C (Van Vliet *et al.*, 2011).

Vērtējot izmaiņas upju ūdens temperatūrā pa mēnešiem (no maija līdz oktobrim), tad lielākās izmaiņas saistītas ar maija un jūlija mēnešiem (4. pielikums). Tātad būtiskākās izmaiņas upju ūdens temperatūrā Latvijas upēs galvenokārt saistītas ar laiku, kad notiek upju ūdens sasilšana pēc ledus perioda beigām, vai arī vasarā karstuma viļņu un sausuma periodos, uz ko norāda arī F. Moatars un J. Gailhards pētījumā par Francijas upēm (Moatar and Gailhard, 2006). Turklāt Baltijas valstīs, tajā skaitā arī Latvijā, tieši pavasarī (marts, aprīlis, maijs) un vasaras vidū (jūlijs, augusts) konstatēts statistiski nozīmīgs maksimālās un arī minimālās gaisa temperatūras pieaugums (Jaagus *et al.*, 2014). Līdzīgas tendences ūdens temperatūras pieaugumā pavasara beigās – vasaras sākumā konstatētas arī Ļenas upes baseinā Sibīrijā, turklāt arī ilgtermiņa izmaiņu analīze, salīdzinot periodu no 1950. – 1960. gadam un periodu no 1970. – 1980. gadam uzrāda gan pozitīvas, gan negatīvas tendences (Liu *et al.*, 2005), līdzīgi, kā tas ir promocijas darbā iegūtajos rezultātos.

Salīdzinot katra mēneša (no maija līdz oktobrim) ilggadīgi vidējās ūdens temperatūras par periodu no 1988. – 2000. gadam un periodu no 1945. – 1987. gadam, redzams, ka lielākajā daļā gadījumu periodā no 1988. – 2000. gadam mēnešu ilggadīgi vidējās ūdens temperatūras ir nedaudz augstākas, kā periodā no 1945. – 1987. gadam (3.14. tab.). Kā jau iepriekš minēts, tad ūdens temperatūra lielā mērā ir atkarīga no klimatiskajiem apstākļiem un visvairāk tieši no gaisa temperatūras (Глазачева, 1967). Periodā no 1988. – 2000. gadam ūdens temperatūras ir augstākas, kā periodā no 1945. – 1987. gadam, jo periods līdz 1987. gadam tiek uzskatīts par periodu „bez būtiskas” klimata pārmaiņu ietekmes, savukārt periods no 1988. – 2009. gadam tiek uzskatīts par periodu „ar būtiskām” klimata pārmaiņu iezīmēm, tajā skaitā būtisku gaisa temperatūras paaugstināšanos (Hagen and Feistel, 2005). Lielākās izmaiņas saistītas ar maija mēnesi, kurā lielajās upēs ilggadīgi vidējā ūdens temperatūra maija mēnesī ir palielinājusies par 0,3 – 1,2 °C un vislielākais pieaugums novērojams Latvijas ziemeļdaļā. Arī J. Jāgus un līdzautori (Jaagus *et al.*, 2014) apliecina, ka kopumā, klimata pasiltināšanās, izteiktāka ir Igaunijā un Latvijas teritorijas ziemeļdaļā, turklāt starpības starp diennakts maksimālo un minimālo temperatūru ir lielākas tieši siltajā periodā, t.i., no aprīļa līdz augustam.

Ilggadīgi vidējā maksimālā ūdens temperatūra lielajām upēm svārstās robežās no 22,7 °C Gaujas – Velēnas HNS līdz 25,7 °C Lielupes – Mežotnes HNS, bet mazajām upēm no 20,1 °C Vaidavas – Apes HNS līdz 25,8 °C Mūsas – Bauskas HNS (3.15. tab.). Kā redzams, tad augstāka ūdens temperatūra ir Lielupē, Ventā un Daugavā un līdzenumu mazajās upēs, kuras nav dziļas un pazemes ūdeņu pieplūdums nav liels.

Analizējot gada maksimālās ūdens temperatūras ilgtermiņa izmaiņas pēc Mann-Kendall testa rezultātiem, iegūts galvenokārt statistiski ticams negatīvs trends (61,1 % gadījumu trends ir statistiski ticams pie  $p < 0,05$ ), bet 25 % gadījumu tika iegūts negatīvs trends (3.16. tab., 3.12., 3.13. att.). Kā norāda D. Šneiders un R. Andersons (Schneider and Anderson, 2007), tad ūdens temperatūru negatīvi ietekmē palielināta piekrastes veģetācija (augsta, blīvi augoša), kas veicina upes noēnojumumu, samazinot saules starojuma daudzumu, kas sasniedz upes ūdens virsmu. Arī liels upju sanešu daudzums, kas veicina upju duļķainumu, var samazināt upju ūdens maksimālo temperatūru. Arī S.J. Langan un līdzautori (Langan *et al.*, 2001) norāda uz cilvēka saimniecisko darbību upes baseinā – zemes lietojuma veidu maiņu, ūdenskrātuvju ierīkošanu, upju regulēšanu un kanālu izveidošanu, urbanizāciju un piesārņojumu, kas var veicināt gada maksimālās ūdens temperatūras samazināšanos, mazākas diennakts temperatūras amplitūdas un gada vidējās ūdens temperatūras pieaugumu. Par upes sateces baseina un antropogēno faktoru ietekmi uz upju termisko režīmu būtu nepieciešams veikt detalizētāku pētījumu nākotnē.

Līdzīgi kā gaisa temperatūrā, arī ūdens temperatūrā upēs vērojamas sezonālas izmaiņas. Gada griezumā ūdens temperatūrā var izšķirt divus galvenos periodus – periods, kad notiek ūdens sasilšana aprīlis – maijs līdz jūlijam – augustam un periods, kad notiek ūdens atdzišana (septembris – februāris) (Arnell, 1996). Ziemeļu puslodes mērenajos platumā grādos, sākot ar pavasari, ūdens temperatūra upēs pakāpeniski palielinās, maksimumu sasniedzot jūlijā – augustā. Pēc tam ūdens temperatūra galvenokārt pazeminās un jau oktobrī tiek sasniegtas stabilas zemas ūdens temperatūras (Arnell, 1996). Latvijas upēs maksimālā ūdens temperatūra galvenokārt novērojama jūlija mēnesī (3.14., 3.15. att.). Arī citos pētījumos konstatēts, ka maksimālā ūdens temperatūra novērojama vasaras mēnešos (jūnijā, jūlijā, augustā) (Pekarova *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2005).

Tātad upju ūdens temperatūras dinamika ir sarežģīta un tā var tikt aplūkota dažādos mērogos, kā, piemēram, makro mērogā (upes atrašanās vietas dažādos platumā un augstuma grādos, kā arī kontinentalitātes), mezo mērogā (upes baseina klimata un hidroloģijas), kā arī mikro mērogā (upes ģeometrijas, noēnojums upes krastos, augsnēm upes baseinā u.c.) (Garner *et al.*, 2014). Kopumā upju ūdens temperatūras sadalījumu nosaka galvenokārt lokāli fizioģeogrāfiskie un antropogēnie faktori un kā svarīgākie no šiem faktoriem minami – klimatiskie apstākļi, apkārtējā ainava (mežainums, atklāts lauks), pazemes ūdeņu pieplūdums, smilšaino augšņu un ezeru izplatība sateces baseinā, upes izmērs un ģeomorfoloģija, kā arī uz upes esošie HES un citi faktori (Webb *et al.*, 1996; Uehlinger *et al.*, 2003; Jurgelēnaitē *et al.*, 2012; Carrivick *et al.*, 2012; Gebre *et al.*, 2014). Kā pierādīts vairākos pētījumos pasaulē, tad no antropogēnajiem faktoriem tieši HES ir vislielākā ietekme uz upju ūdens temperatūras režīmu (Prats *et al.*, 2010, Jurgelēnaitē *et al.*, 2012; Dickson *et al.*, 2012), savukārt blīvi apdzīvotās teritorijās būtisku ietekmi rada arī upē iepludināti notekūdeņi, kā arī ūdens ņemšanas vietas (Xin and Kinouchi, 2013). Kā jau minēts iepriekš, tad promocijas darbā pētīta tieši klimata ietekme uz Latvijas upju termisko režīmu un pārējo faktoru ietekmes izpēte ir iespēja turpmākajiem pētījumiem.

Pasaulē lielākā daļa pētījumi, kas veikti saistībā ar ūdens temperatūras dinamikas izpēti, koncentrēti tieši uz klimata pārmaiņu ietekmes novērtēšanu un vairumā gadījumu veiktajos pētījumos visbūtiskākā ietekme uz ūdens temperatūru tiek saistīta tieši ar atmosfēras apstākļiem, konkrēti gaisa temperatūru (Caissie, 2006; Arai, 2009; Prats *et al.*, 2010; Kaushal *et al.*, 2010; Van Vliet *et al.*, 2011). Arī promocijas darbā iegūti statistiski ticami korelācijas rezultāti attiecībā uz ilggadīgi vidējās ūdens temperatūras pieaugumu (3.17. tab.), pateicoties ilggadīgi vidējās gaisa temperatūras pieaugumam, tādējādi parādot, ka globālās klimata pārmaiņas ietekmē arī upju termisko režīmu Latvijā. M.T.H Van Vlieta u.c. (Van Vliet *et al.*, 2013) pētījumā konstatēts upju ūdens temperatūras pieaugums arī nākotnē. Globāls vidējās un maksimālās ūdens temperatūras pieaugums attiecīgi par 0,8 – 1,6 °C un 1,0 – 2,2 °C tiek prognozēts pēc nākotnes emisiju scenārijiem B1 un A2 laika periodam no 2071. – 2100. gadam, salīdzinot ar periodu no 1971. – 2000. gadam. Lielākā ūdens temperatūras paaugstināšanās tiek prognozēta Amerikas Savienotajās Valstīs, Eiropā, Ķīnas austrumdaļā, Āfrikas dienviddaļā, kā arī Austrālijā, jo šajos reģionos galvenokārt tiek prognozēta arī upju noteces samazināšanās. Šie reģioni, iespējams, varētu tikt ietekmēti ar palielinātu ūdens kvalitātes pasliktināšanos, kas samazinātu ūdens pieejamību cilvēku vajadzībām, piemēram, dzeramā ūdens pieejamību, kā arī samazinātos hidroelektrostaciju jaudas.

### 4.3. Upju ledus režims

Upju ledus uzlūšanu ietekmē dažādi faktori, kā, piemēram, gaisa temperatūra, ledus biezums, sniega segas biezums uz ledus, vējš, ūdens temperatūra un ūdens dziļums zem ledus, taču vissvarīgākais no šiem faktoriem ir gaisa temperatūra (Stonevicius *et al.*, 2008). Gaisa temperatūra ir klimata mainības indikators, kas visbiežāk tiek izmantots, lai raksturotu globālo klimata mainības procesu. Gaisa temperatūras mainība parāda, ka notiek gaisa temperatūras paaugstināšanās tieši pēdējo gadu desmitu laikā (3.16. att.). Pēc L. Lizumas (2008) pētījuma rezultātiem būtiski ir paaugstinājušās gan gada vidējās temperatūras, gan arī vidējās minimālās un vidējās maksimālās gaisa temperatūras. Latvijā visbūtiskākais vidējās gaisa temperatūras pieaugums vērojams tieši ziemā un pavasarī, lai gan pieaugums vasarā un rudenī, kaut arī nav tik liels, tomēr arī ir statistiski ticams (Lizuma, 2008; Lizuma *et al.*, 2007). Gaisa temperatūras pieaugums ziemas sezonā tieši ietekmē arī ledus režimu Latvijas upēs, jo, kā min D.M. Livingstons (Livingstone, 1997), tad statistiski 60 – 70 % gadījumu izmaiņas ledus režīmā var tikt izskaidrotas ar gaisa temperatūru. Tātad, lai notiktu ledus segas izveidošanās, viens no galvenajiem priekšnosacījumiem ir negatīvas gaisa temperatūras, taču, ja negatīvās temperatūras ziemas sezonā samazinās (3.17. att.), tad būtiski tiek ietekmēts ledus režīms un ledstāves ilgums upēs samazinās vai ledus sega neizveidojas nemaz, ko apstiprina arī pētījumā iegūtie korelācijas rezultāti (3.19. tab.). Turklāt, kā min S. Beltaos un T.D. Prowss (Beltaos and Prowse, 2009) ledus segas izveidošanās un uzlūšanas datumi labi korelē ar gaisa temperatūru tieši aptuveni mēnesi pirms ledus segas izveidošanās vai uzlūšanas.

Balstoties uz S.V. Boršs u.c (Borshch *et al.*, 2001) pētījumu, kurā veikta caurplūduma datu un ledus režīma analīze, secināts, ka caurplūdumam nav būtiska ietekme uz ledus segas izveidošanos, izņemot gadījumus, kad lielām upēm raksturīgs salīdzinoši ilgs periods, lai atdzistu ūdens masas un varētu notikt ledus segas veidošanās. Caurplūdumam kopā ar gaisa temperatūru ir novērojama daudz lielāka ietekme tieši uz ledus segas uzlūšanu (Borshch *et al.*, 2001). Tas saskan arī ar promocijas darba rezultātiem, kad periodā no 1988. – 2009. gadam vērojams ziemas noteces pieaugums (3.1. tab.) un arī ledus segas uzlūšana upēs vērojama jau februārī (3.20. att.), samazinot arī ledstāves ilgumu (3.22. att.), it īpaši Latvijas rietumdaļā.

Kā minēts iepriekš, tad dati par ledus segas izveidošanos un uzlūšanu, ledus segas ilgums, kā arī ledus segas biezums ir labi indikatori, lai novērtētu ilggadīgās un sezonālās klimata izmaiņas, kā arī to reģionālās īpatnības. Pēdējās desmitgadēs vairākos pētījumos (Magnuson *et al.*, 2000; Prowse *et al.*, 2002; Vuglinsky, 2006; Lemke *et al.*, 2007; Beltaos and Prowse, 2009; Dubra and Grecevičius, bez dat.) ir norādīts uz statistiski ticamu pozitīvu trendu attiecībā uz agrāku ledus segas uzlūšanu un vēlāku ledus segas veidošanos, tādējādi nodrošinot ar informāciju par pakāpenisku globālā klimata pasiltināšanos.

Promocijas darba rezultāti uzrāda pozitīvu tendenci ledus segas izveidošanās datumam, taču atsevišķos gadījumos parādās arī negatīvs trends. (3.19. att.; 6. pielikums). Negatīvs trends galvenokārt saistīts ar Vidzemes augstienes mazajām upēm, kurām ir liels pazemes ūdeņu pieplūdums, kā arī zemākas ilggadīgi vidējās ūdens temperatūras. Tāpat negatīvs trends vērojams upēm, kas plūst no Rietumkursas un Austrumkursas augstienēm. Agrāku ledus segas uzlūšanu apstiprina iegūtie Mann-Kendall testa rezultāti, kur 93,0 % gadījumu testa rezultāti ir statistiski ticami negatīvi un arī pārējos gadījumos jeb 7,0 % gadījumu tests ir negatīvs (3.21. att., 6. pielikums). Statistiski ticams pozitīvs trends ledus segas izveidošanās datumam un statistiski ticams

negatīvs trends uzlūšanas datumos norāda uz ledus segas ilguma samazināšanos Latvijas upēs. Pielietotā Mann-Kendall testa rezultāti 88,4 % gadījumu uzrādīja statistiski ticamu negatīvu trendu, bet 11,6 % gadījumu negatīvu trendu, kas nozīmē, ka visos Latvijas reģionos upēs notiek statistiski ticama ledus segas ilguma samazināšanās (3.24. att., 6. pielikums). Lielākie ledstāves ilgumi saistīti ar pētāmā perioda pirmajām desmitgadēm līdz aptuveni septiņdesmitajiem gadiem, kad ledus segas ilgums pakāpeniski kļūst īsāks (3.23. att). Kā jau minēts 4.1.1. nodaļā, tad lielākais gaisa temperatūras pieaugums vērojams tieši ziemas un pavasara sezonā sākot ar 1970-ajiem gadiem (Kļaviņš *et al.*, 2009). Procesiem virs Atlantijas okeāna ziemeļdaļas ir nozīmīga ietekme uz klimatiskajiem apstākļiem Baltijas reģionā, it īpaši aukstajā sezonā (oktobris – aprīlis), ko apstiprina M. Kļaviņa un līdzautoru (Kļaviņš *et al.*, 2009) veiktā kopsakarību analīze starp Ziemeļatlantijas Oscilācijas indeksu un negatīvo gaisa temperatūru summu. Ziemeļatlantijas Oscilācijas pozitīvā fāze (raksturojas ar pastiprinātiem rietumu vējiem un siltāku un mitrāku gaisa masu ieplūšanu) ir cēlonis siltākām ziemām (ziemas sākas vēlāk un agrāk iestājas pavasaris), tādējādi izmaiņas gaisa temperatūrā un arī atmosfēras nokrišņos ietekmē arī ledus un noteces režīmu Latvijā (Kļaviņš *et al.*, 2009). Ledus segas ātrāka uzlūšana norāda uz agrākiem pavasara paliem, tādējādi izskaidrojot arī ziemas noteces apjoma pieaugumu un arī ziemas 30 dienu minimālā caurplūduma palielināšanos. Ievērojamākās izmaiņas ledus režīmā saistītas ar Latvijas rietumu daļas upēm, kur iepriekšminētie procesi izpaužas visjūtāmāk, pateicoties Baltijas jūras tuvumam (Bolle *et al.*, 2008) un salīdzinoši līdzenajam reljefam, kas sekmē brīvu gaisa masu ieplūšanu reģionā (Kļaviņš *et al.*, 2009).

Kā liecina pasaulē veiktie pētījumi (Magnuson *et al.*, 2000; Beltaos and Burrell, 2003; Prowse *et al.*, 2002; Vuglinsky, 2006; Lemke *et al.*, 2007; Beltaos and Prowse, 2009; Dubra and Grecevičius, bez dat.) vēlāka ledus segas izveidošanās, ātrāka ledus segas uzlūšana un ledstāves ilguma samazināšanās vērojama lielākajā daļā pasaules reģionu ziemeļu puslodē. Lielākajā daļā Krievijas Eiropas daļas un Rietumsibīrijas upēs, kā arī Donavā novērojams statistiski būtisks trends saistībā ar vēlāku ledus segas izveidošanos un agrāku ledus segas uzlūšanu, kā rezultātā ledus sezonas ilgums samazinājies par aptuveni 20 dienām laika periodā no 1893. – 1991. gadam (Beltaos and Prowse, 2009). Savukārt Kanādā P.F. Doils un J.F. Balls (Doyle and Ball, 2008) 22 novērojumu stacijās uz 19 upēm konstatējuši statistiski ticamu vēlāku ledus segas izveidošanos un agrāku ledus segas uzlūšanu, turklāt ziemā konstatēta gaisa temperatūras paaugstināšanās par ~ 1,6 °C periodā no 1976. – 2005. gadam. Arī M.P. Lacroix u.c. (Lacroix *et al.*, 2005) Kanādas rietumdaļā konstatējis daudz ātrāku ledus segas uzlūšanu. Savukārt K.D. Vaits un līdzautori (White *et al.*, 2007) 8 upēm Aļaskā par laika periodu no 1912. – 2001. gadam konstatējis ātrāku ledus segas uzlūšanu par ~ 6 dienām, bet Menas štata (ASV) upēm pat par 16 – 37 dienām. Arī Lietuvā E. Stonevicius u.c. (Stonevicius *et al.*, 2008) analizējot datus par Nemunas upi, konstatējis statistiski būtisku vēlāku ledus segas izveidošanos un agrāku ledus segas uzlūšanu vidēji par aptuveni 10 dienām abos gadījumos. Iepriekšminēto pētījumu rezultāti labi saskan arī ar pētījuma rezultātiem, kur Latvijā ledus segas ilgums laika periodā no 1945. – 2012. gadam samazinājies vidēji par 6 – 15 dienām. Taču tajā pašā laikā, piemēram, Austrumsibīrijas reģionā, kaut arī trends ir nebūtisks, novērojama ledus sezonas pagarināšanās (Beltaos and Prowse, 2009). Tomēr jāmin, ka S Beltaos un T.D. Provss (Beltaos and Prowse, 2009) norāda, ka, pateicoties garajam novērojumu periodam, redzams, ka arī 18. un 19. gadsimtā pastāv periodi ar ledus režīma izmaiņām, līdzīgām, kā bija novērojamas 20. gadsimtā.

Ir nedaudz pētījumu par ledus biezuma izmaiņu tendencēm, jo dati par ledus biezumu nav tik viegli iegūstami, kā, piemēram, dati par ledus segas izveidošanās un uzlūšanas datumiem (Beltaos and Prowse, 2009). Taču, kā norāda P. Batima un līdzautori (Batima *et al.*, 2004), tad ledus biezuma dati būtu daudz precīzāks klimata pārmaiņu rādītājs, nekā ledus izveidošanās un uzlūšanas datumi, it sevišķi tajās teritorijās, kurās klimats ir kontinentālāks. Pētījumā iegūtie rezultāti norāda, ka katros desmit gados gada vidējam un arī maksimālajam ledus biezumam Latvijas upēs ir statistiski ticama tendence samazināties, kaut arī samazinājuma apjoms nav salīdzinoši liels – no 1 – 5 cm Latvijas centrālajā un austrumdaļā un no 2 – 6 cm rietumdaļā attiecībā uz vidējo ledus biezumu. Arī maksimālā ledus biezuma samazināšanās apjomi ir līdzīgi – no 1 – 4 cm centrālajā un austrumdaļā un no 2 – 8 cm Latvijas rietumu piekrastē. Tas saskan arī ar citiem pētījumu rezultātiem, jo piemēram, pētījumā par Krievijas upēm V.S. Vuglinskis (Vuglinsky, 2006) konstatējis, ka praktiski visās lielajās Krievijas upēs maksimālais ledus biezums periodā no 1980. – 2000. gadam samazinājies pa 2 – 14 cm, bet upēs, kas atrodas Krievijas Eiropas daļā, par 2 – 7 cm. Līdzīgas tendences iegūtas arī pētījumos citās ziemeļu puslodes valstīs, piemēram, ASV T.G. Huntingtona u.c. (Huntingtons *et al.*, 2003) pētījuma periodā no 1912. – 2001. gadam konstatējis maksimālā ledus biezuma samazināšanos pat par 23 cm, bet P. Batima un līdzautori (Batima *et al.*, 2004) pētījumā par Mongolijas upēm par 20 cm. Tāpat kā ledus fenoloģiskos parametrus, arī ledus biezumu lielā mērā ietekmē globālā klimata pasiltināšanās, galvenokārt pēdējo 20 – 30 gadu laikā (Bolle *et al.*, 2008), ko galvenokārt nosaka pozitīvs ziemas gaisa temperatūru trends (Vuglinsky, 2006). Tomēr, kā norāda J. Korhonen (Korhonen, 2006), klimata pārmaiņu ietekme uz ledus biezumu ir grūti izvērtēt, jo ledus biezums ir atkarīgs gan no gaisa temperatūras, gan, piemēram, sniega daudzuma.

Gan ledus režīma dati, kā arī ziemas bardzības indekss norāda uz klimata pasiltināšanos Latvijas teritorijā, turklāt ledus režīma izmaiņu tendences ir līdzīgas arī kaimiņvalstīs, piemēram, Lietuvā (Stonevicius *et al.*, 2008; Šarauskiene and Jurgelenaite, 2008; Dubra and Grecevičius, bez dat ) un Krievijā (Vuglinsky, 2006), kā arī Skandināvijā (Magnuson *et al.*, 2000), apstiprinot hipotēzi par klimata pārmaiņu ietekmi uz ledus režīmu Latvijas upēs. Rezultātu analīzē redzamas statistiski ticamas izmaiņas ledus režīmā (3.19. tab.) un aprēķinātais ziemas bardzības indekss (3.29. att.) norāda uz daudz siltākām un mitrākām ziemām, kas nosaka vēlāku ledus segas izveidošanos, ātrāku ledus segas uzlūšanu, īsāku ledstāves periodu un mazāku ledus biezumu upēs, ko apstiprina arī korelācija starp ziemas bardzības indeksu un negatīvo gaisa temperatūru summu (3.20. tab.). Un, kā norāda M. Kļaviņš un līdzautori (Kļaviņš *et al.*, 2009), tad ledus režīms ir atkarīgs ne tikai no katra konkrētā gada meteoroloģiskajiem apstākļiem un attāluma līdz Baltijas jūrai, bet arī no globālajam klimata pārmaiņām. Uz to, ka globālās klimata pārmaiņas ietekmē ledus režīmu Baltijas jūras reģionā, norāda arī M. Sztobrina un līdzautori (Sztobryn *et al.*, 2008).

Pētījuma rezultāti arī norāda uz Latvijas upju reģionālajām atšķirībām ledus režīmā (3.18., 3.20., 3.22. att.). Upēm, kas atrodas rietumdaļā, ir daudz lielāka meteoroloģisko procesu ietekme uz ledus režīmu, ko galvenokārt nosaka mitrā gaisa masu pārnese no Atlantijas okeāna pāri Baltijas jūrai, galvenokārt cikloniskās darbības dēļ. Salīdzinoši līdzenais reljefs sekmē brīvu gaisa masu ieplūšanu iekšzemē, kaut arī Latvijas augstienes nav pārāk augstas, tomēr tās ietekmē gaisa temperatūru un nokrišņu sadalījumu vietējā mērogā. Tādējādi rietumdaļā klimatiskie apstākļi ir daudz maigāki, ko apstiprina arī iegūtie ziemas bardzības indeksa rezultāti un līdz ar to arī ledus režīms rietumdaļas upēs ir atšķirīgs no ledus režīma ziemeļu un austrumdaļā. Pētījuma rezultāti

parādīja, ka upēm Latvijas rietumdaļā ledus sega izveidojas aptuveni 2 nedēļas vēlāk un ledus segas uzlūšana notiek aptuveni 3 nedēļas ātrāk, kā rezultātā arī ledstāves ilgums ir daudz īsāks. Turklāt arī ledus biezuma dati norāda uz mazāku ledus biežumu rietumu daļā, salīdzinot ar austrumdaļu, kā arī lielākie ledus biežumi rietumdaļā novērojami jau februārī, bet austrumdaļā galvenokārt marta mēnesī. Līdzīgas tendences saistībā ar reģionālajām atšķirībām novērojusi arī L. Glazačeva (Глазачева, 1965). Attiecībā uz ledus segas izveidošanos, tad jau pētījuma periodā no 1926. – 1960. gadam Latvijas rietumu daļā bija novērojamas, ka ledus segas izveidošanās notiek 3 – 4 dienas vēlāk, bet pārējā Latvijā 1 – 2 dienas. Taču arī L. Glazačeva (Глазачева, 1965) norāda uz kopējām tendencēm, proti, Latvijas austrumdaļā ledus segas veidošanās notiek jau novembra beigās – decembra sākumā, bet rietumu daļā (Baltijas jūras un Rīgas līča piekrastē) decembra beigās – janvāra sākumā. Līdzīga situācija vērojama arī attiecībā uz ledus uzlūšanu: vispirms tā notiek rietumdaļas upēs, bet visvēlāk ledus segas uzlūšana notiek austrumu un ziemeļaustrumu daļā. L. Glazačeva (Глазачева, 1965) pētījumā minēts, ka ledus uzlūšana notiek no marta vidus, līdz aprīļa sākumam, aptverot nedaudz vairāk nekā 2 nedēļas. Taču pētījuma rezultāti norāda uz daudz garāku ledus segas uzlūšanu: no februāra beigām līdz marta beigām. Tas nozīmē, ka pēc ledus režīma rakstura Latvijas upes iespējams iedalīt divās grupās – pirmajā grupā ietilpst upes ar stabilu un ikgadēju ledus segu vai gandrīz ikgadēju ledus segu, bet otrajā grupā ietilpst upes ar nestabilu ledus segu (Glazačeva, 1975). Pirmajā grupā galvenokārt ietilpst Lielupes un Gaujas baseina upes, kā arī upes Latvijas austrumdaļā, bet otrajā grupā piejūras baseina upes, kā arī Salaca.

Attiecībā uz ledus biežumu L. Glazačeva (Глазачева, 1965) nav novērojusi būtiskas izmaiņas, vien norāda uz to, ka ledus biežums Latvijas upēs lielā mērā ir atkarīgs no katras konkrētās ziemas klimatiskajiem apstākļiem – siltās un mitrās ziemās ledus sega var neizveidoties vispār, savukārt bargās ziemās ledus biežums atsevišķās upēs var sasniegt pat 1 m un vairāk.

#### 4.4. Ledus fenoloģija Daugavā

Dažādos Daugavas posmos ledus segas izveidošanās un uzlūšanas procesi ir atšķirīgi (3.21. tab.), ko nosaka ne tikai hidrodinamiskie apstākļi upes gultnē (straujākus upju posmus nomaina lēnāki posmi), bet arī klimatiskie apstākļi, kā arī HES kaskāžu būvniecība pēc 1939. gada.

Antropogēnās darbības, jo īpaši HES kaskāžu būvniecība pēc 1939. gada, minams kā vēl viens no faktoriem, kas noteicis izmaiņas ledus fenoloģijā Daugavas vidustecē un lejtecē, tādējādi apstiprinot iepriekš izvirzīto hipotēzi. Pēc HES izbūves, augšpus dambja izveidojas ūdenskrātuve un, kā liecina novērojumu dati no HNS, tad ūdenskrātuvēs ledus segas izveidojas ātrāk, saglabājas ilgāk un pagarinās ledstāves ilgums (3.23.; 3.24.; 3.25. tab.). HES būvniecība un dambju izveidošana maina upes ledus režīmu, jo tiek izmainīta upes morfoloģija (Takács *et al.*, 2013). Izmaiņas ir atšķirīgas augšpus un leļpus dambja. Augšpus dambim, ūdens dziļums un ūdens virsmas platība palielinās, savukārt straumes ātrums un turbulence samazinās, kā rezultātā apstākļi kļūst līdzīgi kā ezeros (Takács *et al.*, 2013). Turklāt, izveidojot ūdenskrātuvi, nepastāv vairs strauja ūdens apmaiņa un augšējais ūdens slānis atdziest ātrāk, turklāt ūdenskrātuvēs, līdzīgi kā ezeros, gada siltajā periodā novērojama tiešā stratifikācija (pieaugot dziļumam, ūdens temperatūra pazeminās), taču gada aukstajā periodā vērojama apgrieztā stratifikācija (ūdens temperatūra virsējā slānī ir zemāka nekā

apakšējos slāņos) (Meilutyte-Barauskiene *et al.*, 2005). Siltajā periodā, ūdenim nākot no dziļākajiem slāņiem, leļpus ūdenskrātuves Daugavā vērojama zemāka ūdens temperatūra, taču aukstajā periodā tas ir otrādi – ūdens, kas nāk no zemākajiem ūdens slāņiem, ir siltāks, tādējādi Daugavā leļpus HES novērojama augstāka ūdens temperatūra, kas nosaka vēlāku ledus segas izveidošanos un agrāku tās uzlūšanu. Turklāt leļpus dambja palielinās arī straumes ātrums un turbulence, kā arī upes posmu, kas atrodas leļpus HES, var ietekmēt paša HES darbība – ūdens vilnis reizēm var izraisīt ledus sakustēšanos un mākslīgu ledus iešanu (Глазачева, 1965; Takács *et al.*, 2013).

Pētījumā iegūtie rezultāti saskan arī ar L. Glazačevas (Глазачева, 1963; 1965) veiktajiem pētījumiem par to, kā Ŗeguma HES izbūve ietekmējusi ledus fenoloģiju periodā no 1928. – 1960. gadam. Pēc L. Glazačevas (Глазачева, 1963; 1965) pētījumu rezultātiem, Jaunjelgavas HNS upes aizsalšana novērota mēnesi agrāk, bet uzlūšana 4 dienas vēlāk, savukārt Ogres HNS ledus segas izveidošanās novērojama 27 dienas vēlāk, bet uzlūšana nedēļu ātrāk. Līdz šim nav veikti pētījumi par to, kā Pļaviņu un Rīgas HES ietekmējūšas ledus segas izveidošanos un uzlūšanu Daugavā. Līdzīgas likumsakarības, kā promocijas darbā, vērojamas arī D. Šarauskienes un A. Jurgelēnaites (Šarauskiene and Jurgelēnaitē, 2008) Lietuvā veiktajā pētījumā par Kauņas HES ietekmi uz ledus režīmu Nemunas upē. Pēc HES būvniecības 1959. gadā Kauņas un Lampedžiai HNS ledus segas ilgums samazinājies attiecīgi 15 un 5 reizes, salīdzinot ar pētījuma periodu no 1931. – 1960. gadam. Vidējais ledus aizsalšanas datums Druskininkai and Nemajūnai HNS vērojams nedaudz agrāk, kaut arī Nemajūnai HNS upes aizsalšana vērojama vēlāk, kā periodā no 1931. – 1960. gadam. HES izraisītas ledus fenoloģijas izmaiņas konstatētas arī K. Takaca u.c. (Takács *et al.*, 2013) veiktajā pētījumā par Rābas upi Ungārijā laika posmā no 1940. – 2004. gadam. Analizējot ledus fenoloģijas izmaiņas divās uzbūvētajās HES (Kormendas 1930. gadā un Nikas 1932. gadā) redzams, ka leļpus Kormendas HES periods, kad upē novērojamas ledus parādības, samazinājies no 33 dienām uz 25 dienām, bet ledstāves ilgums samazinājies no 23 dienām līdz 15 dienām. Arī Nikas HES gadījumā, kur HNS atrodas gan augšpus, gan leļpus dambim, novērojumu rezultāti parādīja, ka leļpus dambim ledstāves ilgums samazinājās par 7 dienām, bet augšpus dambja palielinājās par 9 dienām. Turklāt kopš HES izbūves Ragyogohid HNS, kas atrodas augšpus dambja, katru gadu tiek novērota ledus segas izveidošanās.

Pētījumā iegūtie ledus fenoloģijas ilgtermiņa izmaiņu rezultāti par Daugavas HNS sakrīt arī ar citiem veiktajiem pētījumiem par ledus režīma ilgtermiņa izmaiņām, piemēram, Baltijas valstīs un Baltkrievijā (Kļaviņš *et al.*, 2009), Lietuvā (Stonevicius *et al.*, 2008; Šarauskiene and Jurgelēnaitē, 2008), kā arī pārējā Ziemeļu puslodē kopumā (Magnuson *et al.*, 2000). Tas nozīmē, ka pēdējo desmitgažu laikā upes aizsalst vēlāk un ledus sega uzlūst ātrāk, kas ietekmē arī ledus segas ilguma samazināšanos (3.31. att.; 3.22. tab.). Izmaiņas gaisa temperatūrā un attālums līdz Baltijas jūrai ir viens no galvenajiem faktoriem, kas nosaka ledus segas veidošanos un uzlūšanu Latvijā (Šarauskiene and Jurgelēnaitē, 2008; Kļaviņš *et al.*, 2009). Kā jau minēts iepriekš, Lizuma u.c. (Lizuma *et al.*, 2007) norāda, ka Latvijā gada vidējā gaisa temperatūra pieaugusi par 1,4 °C pēdējo 50 gadu laikā, turklāt, pētījuma periodā no 1950. – 2003. gadam, vislielākais pieaugums vidējā gaisa temperatūrā vērojams tieši pavasarī (marts – maijs) un ziemas sākumā (novembris – decembris).

Klimata pārmaiņu rezultātā nākotnē arī augšpus HES dambjiem būs vērojamas izmaiņas. Pēc S. Gebres u.c. (Gebre *et al.*, 2014) Norvēģijā veiktā pētījuma par klimata izmaiņu ietekmi uz HES ūdenskrātuvēm, kur pielietots viendimensionālais deterministiskais MyLake ledus un termālās stratifikācijas modelis un izmantoti divi

globālie klimata modeļi HadCM3Q3 un ECHAM5, prognozēta ledstāves ilguma samazināšanās. Pēc IPCC nākotnes emisiju scenārija A1B ūdenskrātuvē, kas atrodas vistuvāk piekrastei, prognozēta ledstāves ilguma samazināšanās par 44 – 53 dienām 2050-ajos gados un par 57 – 81 dienai 2080-ajos gados. Norvēģijas vidienē esošajā ūdenskrātuvē ledstāves ilgums 2050-ajos gados samazināsies par 18 – 21 dienu, bet 2080-ajos gados par 29 – 36 dienām. Savukārt ūdenskrātuvē, kas atrodas arktiskajā reģionā Norvēģijas ziemeļdaļā ledstāves ilgums samazināsies vismazāk – attiecīgi par 15 – 16 dienām un 27 – 28 dienām.

## SECINĀJUMI

Pētījums parādīja, ka, lai gan lielākā daļa no Latvijas upju kopējās gada noteces veidojas pavasarī (39 %), kam seko ziema (33 %), rudens (17 %) un vasara (11 %), tomēr pēdējo divu desmitgažu laikā klimata pārmaiņu rezultātā upju noteces sadalījums kļūst izlīdzinātāks, jo atšķirības starp ziemas mazūdens perioda noteci un maksimālo noteci pavasarī ir samazinājušās visos hidroloģiskajos rajonos, it īpaši centrālajā hidroloģiskajā rajonā. Nenožīmīgas izmaiņas vērojamas vasaras notecē, savukārt rudenī vērojama upju noteces samazināšanās, kas statistiski būtiska ir rietumu un ziemeļu hidroloģiskā rajona upēm.

Saskaņā ar nākotnes klimata scenārijiem A2 un B2 gaisa temperatūras pieaugums prognozēts visos gada mēnešos, bet atmosfēras nokrišņu daudzuma un iztvaikošanas pieaugums gada pirmajā pusē, tad Latvijas upju noteces samazināšanos laika posmā no 2071. – 2100. gadam prognozē abi nākotnes klimata scenāriji un lielākās izmaiņas tiek prognozētas pēc A2 scenārija.

Siltās sezonas (no maija līdz oktobrim) ilggadīgi vidējā un maksimālā ūdens temperatūra augstāka ir lielajām Latvijas upēm, salīdzinot ar vidējām un mazajām upēm un augstākas ūdens temperatūras, novērojamas Latvijas centrālajā daļā, bet zemākās – ziemeļu daļā. Ilggadīgi vidējās ūdens temperatūras ilgtermiņa izmaiņu un gaisa temperatūras kopsakarību analīze norāda uz pozitīvu tendenci, it īpaši pavasarī, kas nozīmē, ka ūdens temperatūra lielā mērā ir atkarīga no klimatiskajiem apstākļiem un visvairāk tieši no gaisa temperatūras. Negatīvās maksimālās ūdens temperatūras ilgtermiņa izmaiņu tendences un statistiski nebūtiskā gaisa temperatūras kopsakarību analīze norāda, ka gada maksimālās ūdens temperatūras gadījumā daudz lielāka ietekme, iespējams, ir baseina fizioģeogrāfiskajiem un antropogēnajiem faktoriem.

Ledus režīma raksturojošo parametru ilgtermiņa izmaiņu analīze norāda uz statistiski ticamu vēlāku ledus segas izveidošanos (1 – 7 dienas), agrāku ledus segas uzlūšanu (4 – 15 dienas), kā arī ledus segas ilguma (1 – 15 dienas) un ledus segas biezuma (1 – 8 cm) samazināšanos, ko galvenokārt nosaka samazinātās negatīvo gaisa temperatūru summas (par periodu novembris – aprīlis) pēdējās desmitgadēs. Lielākās izmaiņas ledus režīma parametros raksturīgas Latvijas rietumu un centrālajā daļā, ko nosaka ne tikai siltākas un mitrākas ziemas, bet arī attālums līdz Baltijas jūrai.

Aprēķinātais ziemas bardzības indekss pēdējās dekādēs norāda uz siltākām un mitrākām ziemām, ko apstiprina arī vēlāka ledus segas izveidošanās, agrāka ledus segas uzlūšana, kā arī īsāks ledstāves ilgums un mazāks ledus biezums. Arī ziemas bardzības indeksā vērojamas reģionālas atšķirības – lielāks tas ir upēm, kas atrodas Latvijas austrumdaļā un centrālajā daļā, bet mazāks upēm, kas atrodas Latvijas rietumdaļā un tiešā Baltijas jūras tuvumā.

Globālā klimata pasiltināšanās gadsimtu mijā radījusi ievērojamas ilgtermiņa izmaiņas upju ledus fenoloģijā pēdējo desmitgadu laikā. Tajā pašā laikā Latvijas teritorijas Daugavas vidustecē un lejtecē notikušas izmaiņas ledus fenoloģijā hidroelektrostaciju būvniecības rezultātā pēc 1939. gada. Pēc HES izbūves, augšpus aizsprosta ūdenskrātuvēs ledus segas izveidojas ātrāk, saglabājas ilgāk un pagarinās ledstāves ilgums, bet leļpus aizsprosta ledus sega izveidojas vēlāk un saglabājas īsāku laiku.

Pēc Latvijas upju hidroloģiskā režīma izmaiņu īpatnībām secināms, ka:

- noteces režīma pārmaiņas galvenokārt saistītas ar pavasara maksimumu samazināšanos un agrāku iestāšanos, ievērojamu ziemas noteces palielināšanos un nebūtiskām izmaiņām vasaras un rudens notecē;
- būtiskākās izmaiņas upju ūdens temperatūrā galvenokārt saistītas ar laiku, kad notiek upju ūdens sasilšana pēc ledus perioda beigām, vai arī vasarā karstuma viļņu un sausuma periodos;
- notiek vēlāka ledus segas izveidošanās, ātrāka ledus segas uzlūšana un ledstāves ilguma, kā arī ledus biezuma samazināšanās.

## PATEICĪBAS

Vispirms liels paldies darba vadītājai docentei *Dr.geogr.* Elgai Apsītei par atbalstu studiju, promocijas darba un zinātnisko publikāciju izstrādes gaitā, par sniegtajiem padomiem un ierosinājumiem. Liels paldies darba konsultantam asociētajam profesoram *Dr.biol.* Didzim Elfertam par palīdzību statistikas lietās, kā arī ierosinājumiem un padomiem darba tapšanā un zinātnisko publikāciju izveidē. Vēl viens liels paldies Līgai Klints par nenovērtējamajiem padomiem un palīdzību, apgūstot hidroloģisko modelēšanu, un atbalstu studiju gaitā.

Tāpat paldies manai ģimenei: vīram Artim par atbalstu, tehniskajiem risinājumiem un dēla Oskara pieskatīšanu, kā arī mammai un māšai Elīnai pateicība par palīdzību dēla pieskatīšanā.

Paldies profesorei *Dr.geogr.* Zaigai Krišjānei un profesoram *Dr.habil.chem.* Mārim Kļaviņam par konsultācijām un padomiem. Paldies par palīdzēšanu arī Ilzei Rudlapai un Laumai Gustiņai.

Paldies recenzentiem par darba recenzēšanu.

Darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projekta „Atbalsts doktora studijām Latvijas Universitātē” (līguma Nr.2009/0138/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/004) ietvaros.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Abdul Aziz, O.I. & Burn, D.H. 2006. Trends and variability in the hydrological regime of the Mackenzie River Basin. *Journal of Hydrology*. 319, 282.–294.
- Amarasekera, K.N., Lee, R.F., Williams, E.R. & Eltahir, A.B. 1997. ENSO and the natural variability in the flow of tropical rivers. *Journal of Hydrology*. 200, 24. – 39.
- Andreasson, J., Bergström, S., Carlsson, B., Graham, L. & Lindström, G. 2004. Hydrological change – climate change impact simulations for Sweden. *Ambio*. 33, 228.–234.
- Apsīte, E., Bakute, A. & Rudlapa, I. 2009. Changes of total annual distribution, high and low discharges in Latvian rivers. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences* 63(6), Section B, 279.–286.
- Apsīte, E., Bakute, A., Elferts, D., Kurpniece, L. & Pallo, I. 2011. Climate change impacts on river runoff in Latvia. *Climate Research*. 48, 57.–71.
- Apsīte, E., Bakute, A., Kurpniece, L. & Pallo, I. 2010. Changes in river runoff in Latvia at the end of the 21<sup>st</sup> century. *Fennia*. 188(1), 50.–60.
- Arai, T. 2009. Climate change and variations in the water temperature and ice cover of inland waters. *Japanese Journal of Limnology*. 70 (2), 99.–116.
- Arheimer, B. & Fogelberg, S. 2004. HBV modelling in several European countries. In: *XXIII Nordic Hydrological Conference. NHP report*. 48. Tallin, Estonia, 551.–557.
- Arnell, N. 1996. *Global Warming, river flows and water resources*. John Wiley & Sons.
- Arnell, N. 2002. *Hydrology and global environmental change*. Harlow, Pearson Education Limited.
- Āboltiņš, O. 2010. *No leduslaikmeta līdz globālajai sasilšanai. Dabas vides pagātne un tagadne Latvijā*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds.
- Batima, P., Batnasan, N. & Bolormaa, B. 2004. Trends in river and lake ice in Mongolia. Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change Project. *AIACC Working Paper No 4*.
- Bawden, A.J., Hayley, C.L., Burn, D.H. & Prowse, T.D. 2014. A spatiotemporal analysis of hydrological trends and variability in the Athabasca River region, Canada. *Journal of Hydrology*. 509, 333.–342.
- Beldring, S., Engen-Skaugen, T. & Forland, E.J. 2008. Climate change impacts on hydrological processes in Norway based on two methods for transferring regional climate model results to meteorological station sites. *Tellus*. 60 3A, 439.–450.
- Beltaos, S. & Burrell, B.C. 2003. Climatic change and river ice breakup. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 30(1), 145.–155.
- Beltaos, S. & Prowse, T.D. 2009. River-ice hydrology in a shrinking cryosphere. *Hydrological Processes*. 23 (1), 122. – 144.
- Beltaos, S. (ed.) 2008. *River Ice Breakup*. Water Resources Publications, LLC. Chelsea, Michigan, USA.
- Bergström, S. 1992. The HBV model – its structure and applications. *SMHI Report RH*. 4 Norrköping, Sweden.

- Bethers, U. & Seņņikovs, J. 2009. Ensemble modelling of impact of climate change on runoff regime of Latvian rivers. In: Anderssen R.S. et al. (eds.) *18<sup>th</sup> World IMACS/MODSIM Congress*. Cairns, Australia, 3900.–3906.
- Birsan, M.V., Molnar, P., Burlando, P. & Pfaundler, M. 2005. Streamflow trends in Switzerland. *Journal of Hydrology*. 314, 312.–329.
- Bolle, H.J., Menenti, M. & Rasool, I. (ed.) 2008. *Assessment of climate change for the Baltic Sea Basin. Regional climate studies*. Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag.
- Borshch, S.V., Ginzburg, B.M., Soldatova, I.I. 2001. Modeling the development of ice phenomena in rivers as applied to the assessment of probable changes in ice conditions at various scenarios of the future climate. *Water Resources* 28(2), 194. – 200.
- Boyer, C., Chaumont, D., Chartier, I. & Roy, A.G. 2010. Impact of climate change on the hydrology of St. Lawrence tributaries. *Journal of Hydrology*. 384, 65.–83.
- Braud, I., Breil, P., Thollet, F., Lagouy, M., Branger, F., Jacqueminet, C., Kermadi, S. & Michel, K. 2013. Evidence of the impact of urbanization on the hydrological regime of a medium-sized periurban catchment in France. *Journal of Hydrology*. 485, 5.–23.
- Briede, A. & Lizuma, L. 2007. Long-term variability of precipitation in the territory of Latvia. In: *Climate Change in Latvia* (M. Kļaviņš, ed.). Latvijas Universitāte, Rīga, 35.–44.
- Bukantis, A. 2007. *Indications and causes of climate change. Global environmental change*. Vilnius, Lithuania, 77.–106.
- Butina, M., Melnikova, G. & Stikute, I. 1998. Potential impact of climate change on the hydrological regime in Latvia. In: Lemmelä, R. & Helenius, N. (eds.) *Proceedings of the Second International Conference on Climate and Water 3*, Espoo, Finland, 1610.–1617.
- Caissie, D. 2006. The thermal regime of rivers: a review. *Freshwater Biology*. 51, 1389.–1406.
- Carrivick, J.L., Brown, L.E., Hannah, D.M. & Turner, A.G.D. 2012. Numerical modelling of spatio-temporal thermal heterogeneity in a complex river system. *Journal of Hydrology*. 414 (415), 491.–502.
- Dankers, R., Feyen, L., Christensen, O.B. & Roo, A. 2007. Future changes in flood and drought hazards in Europe. *3<sup>rd</sup> International Conference on Climate and Water*. Helsinki, Finland, Finnish Environment Institute, 115.–120.
- Das, M.M. & Saikia, M.D. 2009. *Hydrology*. PHI Learning Private Limited, New Delhi, 84.–94.
- Dickson, N.E, Carrivick, J.L. & Brown, L.E. 2012. Flow regulation alters alpine river thermal regimes. *Journal of Hydrology*. 464.–465., 505.–516.
- Dingman, S.L. 2008. *Physical hydrology (second edition)*. Waveland Press, Illinois.
- Doyle, P.F. & Ball, J.F. 2008. Changing ice cover regime in southern British Columbia due to changing climate. *Proceedings of the 19th IAHR International Symposium on Ice*, Vancouver, Canada. 9. – 19.
- Du, J. & Shi, C. 2012. Effects of climatic factors and human activities on runoff of the Weihe River in recent decades. *Quaternary International*. 282, 58.–65.
- Floury, M., Delattre, C., Ormerod, S.J. & Souchon, Y. 2012. Global versus local change effects on a large European river. *Science of the Total Environment*. 441, 220.–229.

- Frisk, T., Kļaviņš, M., Rodinov, V., Kokorīte, I. & Briede, A. 2002. *Long term changes of hydrologic regime and aquatic chemistry in inland waters of Latvia*. The Finnish Environment, Tampere, Pirkanmaa Regional Environment Centre.
- Garner, G., Hannah, D.M., Sadler, J.P. & Orr, H.G. 2014. River temperature regimes of England and Wales: Spatial patterns, inter-annual variability and climatic sensitivity. *Hydrological Processes*. 28(22), 5583.–5598.
- Gebre, S., Boissy, T. & Alfredsen, K. 2014. Sensitivity to climate change of the thermal structure and ice cover regime of three hydropower reservoirs. *Journal of Hydrology*. 510, 208.–227.
- Glazačeva, L. 1975. *Latvijas PSR ģeogrāfija*. Zinātne, Rīga.
- Gottschalk, L., Jensen, J.L., Lundquist, D., Solantie, R. & Tollan, A. 1979. Hydrologic Regions in the Nordic Countries. *Nordic Hydrology*. 10(5), 273.–286.
- Graham, L.P., Olsson, J., Kjellström, E., Rosberg, J., Hellström, S.S. & Berndtsson, R. 2009. Simulating river flow to the Baltic Sea from climate simulations over the past millennium. *Boreal Environment Research*. 14, 173.–182.
- Hagen, E. & Feistel, R. 2005. Climatic turning points and regime shifts in the Baltic Sea region: the Baltic winter index (WIBIX) 1659–2002. *Boreal Environment Research*. 10, 211.–224.
- Hammond, D. & Pryce, A.R. 2007. *Climate change impacts and water temperature*. Environment Agency. Bristol, United Kingdom.
- HELCOM. 2007. Climate Change in the Baltic Sea Area – HELCOM Thematic Assessment in 2007. *Balt. Sea Environ. Proc. No. 111*. Helsinki, Baltic Marine Environment Protection Commission – Helsinki Commission.
- Hendriks, M.R. 2010. *Introduction to Physical Hydrology*. Oxford University Press, New York, USA, 1.–47.
- Hicks, F. 2009. An overview of river ice problems. *Cold Regions Science and Technology*. 55, 175.–185.
- Hirsch, R.,M. & Slack, J.R. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*. 20, 727.–732.
- Hisdal, H., Holmqvist, E.E., Hyvärinen, V., Jónsson, P., Kuusisto, E., Larsen, S.E., Lindström, G., Ovesen, N.B. & Roald, A.L. 2003. *Long Time Series – A Review of Nordic Studies*. Climate, Water and Energy Projects. Report 2. Reykjavik, Iceland.
- Huntington, T.G, Hodgkins, G.A. & Dudley, R.W. 2003. Historical trend in river ice thickness and coherence in hydroclimatological trends in Maine. *Climatic Change*. 61, 217–236.
- Isik, S., Dogan, E., Kalin, L., Sasal, M. & Agiralioglu, N. 2008. Effects of anthropogenic activities on the Lower Sakarya River. *Catena*. 75, 172.–181.
- Jaagus, J. 2006. Climate changes in Estonia during the second half of the 20<sup>th</sup> century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*. 83, 77.–88.
- Jaagus, J., Briede, A., Rimkus, E. & Remm, K. 2014. Variability and trends in daily minimum and maximum temperatures and in the diurnal temperature range in Lithuania, Latvia and Estonia in 1951–2010. *Theoretical and Applied Climatology*. 118, 57.–68.

- Jaagus, J., Jarvet, A. & Roosaare, J. 1998. Modelling climate change impact on river runoff in Estonia. In: Kallaste T., Kuldna P. (eds.) *Climate change studies in Estonia*. Tallinn, Estonia, SEI-T, 117.–126.
- Järvet, A. 2003. Climate change impact on the rivers runoff in Viru-Peipsi catchment area. *LIFE-Environment project "Viru-Peipsi CAMP"*, Tallinn.
- Jurgelėnaitė, A., Kriaučiūnienė, J. & Šarauskienė, D. 2012. Spatial and temporal variations in the water temperature of Lithuanian rivers. *Baltica*. 25(1), 65.–76.
- Kanaviņš, E. 1942a. Ledus apstākļi Daugavā agrāk un šīnī ziemā. *Satiksmē un tehnika*. 4, 3.–7.
- Kanaviņš, E. 1942b. Ledus iešana, plūdu norise un postījumi šā gada pavasarī. *Satiksmē un tehnika*. 5, 2.–5.
- Kanaviņš, E. 1943a. Ledus apstākļi Daugavā 1942./43. ziemā. *Satiksmē un tehnika*. 3, 1. – 4.
- Kanaviņš, E. 1943b. Ledus iešanas norise 1943. gada pavasarī Daugavā posmā Jēkabpils – Ķegums un ledus iziešanas atvieglošanai lietotie paņēmieni. *Satiksmē un tehnika*. 4, 1.–3.
- Kaushal, S.S., Likens, G.E., Jaworski, N.A., Pace, M.L., Sides, A.M., Seekell, D., Belt, K.T., Secor, D.H. & Wingate, R.L. 2010. Rising stream and river temperatures in the United States. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 8, 461.–466.
- Kilkus, K., Štaras, A., Rimkus, E. & Valiuškevičius, G. 2006. Changes in water balance structure of Lithuanian rivers under different climate change scenarios. *Environmental Research, Engineering and Management*. 2(36), 3.–10.
- Kļaviņš, M. & Rodinov, V. 2008. Long-term changes of river discharge regime in Latvia. *Nordic Hydrology*. 39(2), 133–141.
- Kļaviņš, M., Blumberga, D., Bruņiniece, I., Briede, A., Grišule, G., Andrušaitis, A. & Āboliņa, K. 2008. *Klimata mainība un globālā sasilšana*, LU Akadēmiskais apgāds, Rīga.
- Kļaviņš, M., Briede, A. & Rodinov, V. 2009. Long term changes in ice and discharge regime of rivers in the Baltic region in relation to climatic variability. *Climatic Change*. 95, 485.–498.
- Kļaviņš, M., Briede, A. & Rodinovs, V. 2007. Ice regime of river in Latvia in relation to climatic variability and North Atlantic Oscillation. In: Kļaviņš M. (ed.) *Climate Change in Latvia*, LU, Rīga.
- Kļaviņš, M., Briede, A., Rodinov, V. & Frisk T. 2006. Ice regime of rivers in Latvia in relation to climatic variability. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*. 29 (4), 1825.–1828.
- Kļaviņš, M., Briede, A., Rodinov, V., Kokorīte, I. & Frisk, T. 2002a. Long-term changes of the river runoff in Latvia. *Boreal Environment Research*. 7(4), 447–457.
- Kļaviņš, M., Briede, A., Rodinovs, V., Lizuma, L. & Frisk, T. 2004. Ice Regime of rivers in Latvia in relation to climatic variability and North Atlantic oscillation. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences*. 58B(5), 175–182.
- Kļaviņš, M., Rodinovs, V. & Kokorīte, I. 2002b. *Aquatic Chemistry of Surface Waters in Latvia*. Univeristy of Latvia, Riga.

- Korhonen, J. & Kuusisto, E. 2010. Long-term changes in the discharge regime in Finland. *Hydrology Research*, 41(3/4), 253.–268.
- Korhonen, J. 2006. Long-term trends in lake ice cover in Finland. *Proceedings on the 18th IAHR International Symposium on Ice*, Sapporo, Japan. 71.–78.
- Kriauciūnienė, J., Kovalenkoviene, M. & Meilutyte-Barauskiene, D. 2007. Changes of the Low Flow in Lithuanian Rivers. *Environmental research, Engineering and Management*. 4(42), 5.–12.
- Kriauciūnienė, J., Meilutyte-Barauskiene, D., Rimkus, E., Kažys, J. & Vincevičius, A. 2008. Climate change impact on hydrological processes in Lithuanian Nemunas river basin. *Baltica*. 21(1/2), 51 –61.
- Kriauciūnienė, J., Šarauskiene, D. & Gailiušis, B. 2009. Estimation of uncertainty in catchment-scale modeling of climate change impacts (case of the Merkys River, Lithuania). *Environmental Research, Engineering and Management*. 47(1), 30–39.
- Kronītis, J. 1977. *Dabas aizsardzība*. Rīga. Liesma.
- Kurpniece, L., Lizuma, L., Timuhins, A., Kolcova, T. & Kukuļs, I. 2010. Climate Change Impacts on Hydrological Regime in Latvia. In: Pikkarainen, H. (eds.) *Conference proceedings - Future Climate and Renewable Energy: Impacts, Risks and Adaptation*. Oslo, Norway, 30.–31.
- Lajoie, F., Assani, A.A., Roy, A.G. & Mesfioui, M. 2007. Impacts of dams on monthly flow characteristics. The influence of watershed size and seasons. *Journal of Hydrology*. 334 (3/4), 423.–439.
- Langan, S.J., Johnstona, U.L., Donaghyb, M.J., Youngsonb, A.F., Hayb, D.W. & Soulsbyc, C. 2001. Variation in river water temperatures in an upland stream over a 30-year period. *The Science of the Total Environment*. 265, 195.–207.
- Latkovska, I., Apsīte, E., Elferts, D. & Kurpniece, L. 2012. Forecasted changes in the climate and the river runoff regime in Latvian river basins. *Baltica*. 25 (2), 143.–152.
- Lemke, P., Ren, J., Alley, R.B., Allison, I., Carrasco, J., Flato, G., Fujii, Y., Kaser, G., Mote, P., Thomas, R.H., Zhang, T. 2007. Observations: changes in snow, ice and frozen ground. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (eds). *In Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge. 337. – 383.
- Libiseller, C. & Grimvall, A. 2002. Performance of Partial Mann-Kendall Tests for Trend Detection in Presence of Covariates. *Environmetrics*. 13, 71.–84.
- Liu, B., Yanga, D., Ye, B. & Berezovskaya, S. 2005. Long-term open-water season stream temperature variations and changes over Lena River Basin in Siberia. *Global and Planetary Change*. 48, 96.–111.
- Livingstone, D.M. 1997. Break-up dates of Alpines lakes as proxy data for local and regional mean surface air temperature. *Climate Change*. 37 (2), 407.–439.
- Lizuma, L. 2008. Gaisa temperatūras un atmosfēras nokrišņu mainības raksturs Rīgā. *Promocijas darbs*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 1.–98.
- Lizuma, L., Briede, A. & Kļaviņš, M. 2010. Long-term changes of precipitation in Latvia. *Hydrology Research*. 41(3/4), 241.–252.

- Lizuma, L., Kļaviņš, M., Briede, A. & Rodinovs, V. 2007. Long-term changes of Air temperature in Latvia. In: *Climate Change in Latvia* (M. Kļaviņš, ed.). Latvijas Universitāte, Rīga. 11.–19.
- Ludwig, W., Serrat, P., Cesmat, L. & Garcia-Esteves, J. 2004. Evaluating the impact of the recent temperature increase on the hydrology of the Tét River (Southern France). *Journal of Hydrology*. 289, 204.–221.
- Magilligan, F.J. & Nislow, K.H. 2005. Changes in hydrologic regime by dams. *Geomorphology*. 71, 61.–78.
- Magnuson, J.J., Robertson, D.M., Benson, B.J., Wynne, R.H., Livingstone, D.M., Arai, T., Assel, R.A., Barry, R.G., Card, V., Kuusisto, E., Granin, N.G., Prowse, T.D., Stewart, T.D. & Vuglinski V.S. 2000. Historical trends in lake and river ice cover in the Northern hemisphere. *Science*. 289, 1743.–1746.
- Maidment, D.R. (ed.) 1993. *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watterson, I.G., Weaver, J.A. & Zhao, Z.C. 2007. Global Climate Projections. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge [etc.], Cambridge University Press.
- Meilutyte-Barauskiene, D., Kovalenkoviene, M. & Sarauskiene, D. 2005. The impact of run-off regulation on the thermal regime of the Nemunas. *Environmental Research, Engineering and Management*. 34(4), 43–50.
- Mikulski, Z. 1970. Inflow of river water to the Baltic Sea in the period 1951 – 1960. *Nordic Hydrology*. 4, 216.–227.
- Moatar, F. And Gailhard, J. 2006. Water temperature behaviour in the River Loire since 1976 and 1881. *Comptes Rendus Geosciences*. 338 (5), 319–328.
- Moràn-Tejeda, E., López-Moreno, J.I., Ceballos-Barbancho, A. & Vicente-Serrano, S.M. 2011. River regimes and recent hydrological changes in the Duero basin (Spain). *Journal of Hydrology*. 404, 241.–258.
- Morisson, J., Quick, M.C. & Foreman, M.G.G. 2002. Climate change in the Fraser River watershed: flow and temperature projections. *Journal of Hydrology*. 263, 230.–244.
- Musy, A. & Higy, C. 2011. *Hydrology: A science of nature*. Science Publishers, USA.
- Orr, H.G., Simpson, G.L., des Clers, S., Watts, G., Hughes, M., Hannaford, J., Dunbar, M.J., Laize, C.L.R., Wilby, R.L., Battarbee, R.W. & Evans, R. 2015. Detecting changing river temperatures in England and Wales. *Hydrological Processes*. 29(5), 752.–766.
- Parry, M.L., Hossell, J.E., Jones, P.J., Rehman, T., Tranter, R.B., Marsh, J.S., Rosenzweig, C., Fischer, G., Carson, I.G. & Bunce, R.G.H. 1996. Integrating global and regional analyses of the effects of climate change: A case study of land use in England and Wales. *Climatic Change*. 32, 185.–198.
- Pastors, A. 1995. Hidroloģiskais režīms. Grām. G. Kavacs (red.). *Latvijas daba: enciklopēdija*, 2. sēj. Rīga, Latvijas enciklopēdija, 151.
- Pastors, A. 1995a. Ledus režīms. Grām. G. Kavacs (red.). *Latvijas daba: enciklopēdija*, 3.sēj. Rīga, Latvijas enciklopēdija, 102.

- Pekarova, P., Halmova, D., Miklanek, P., Onderka, M., Pekar, J. & Skoda, P. 2008. Is the Water Temperature of the Danube River at Bratislava, Slovakia, Rising? *Journal of Hydrometeorology*. 9 (5), 1115.–1122.
- Pekarova, P., Miklanek P., Halmova, D., Onderka, M., Pekar, J., Kučarova, K., Liova, S. & Škoda, P. 2011. Long-term trend and multi-annual variability of water temperature in the pristine Bela River basin (Slovakia). *Journal of Hydrology*. 400, 333.–340.
- Poole, G., Risley, J. & Hicks, M. 2001. *Spatial and Temporal Patterns of Stream Temperature*. Issue Paper 3. United States Environmental Protection Agency, 1. –35.
- Prats, J., Val, R., Armengol, J. & Dolz, J. 2010. Temporal variability in the thermal regime of the lower Ebro River (Spain) and alteration due to anthropogenic factors. *Journal of Hydrology*. 387, 105.–118.
- Prowse, T.D., Bonsal, B.R. & Lacroix, M.P. 2002. Trends in river-ice breakup and related temperature controls. In: Squire, V.A. & Langhorne, P.J. (eds.). *Proceedings of the 16th IAHR International Symposium on Ice*. Dunedin, University of Otago.
- Reddy, P.J.R. 2005. *A Text Book of Hydrology*. Laxmi Publications, New Delhi, 320.–361.
- Reihan, A., Koltsova, T., Kriauciuniene, J., Lizuma, L. & Meilutyte-Barauskiene, D. 2007. Changes in water discharges of the Baltic states rivers in the 20th century and its relation to climate change. *Nordic Hydrology*. 30 (2), 109.–128.
- Riggs, H.C. 1985. *Developments in water science. Streamflow characteristics*. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, Netherland, 5.–23.
- Rogozova, S. 2006. Climate change impacts on hydrological regime in Latvian basins. *European Conference on Impacts of Climate Changes on Renewable Energy Sources 9*, Reykjavik, Iceland, 137.–140.
- Rummukainen, M., Räisänen, J., Bjorge, D., Christensen, J.H., Christensen, O.B., Iversen, T., Jylhä, K., Ólafsson, H. & Tuomenvirta, H. 2003. Regional climate scenarios for use in Nordic water resources studies. *Nordic Hydrology*. 34, 399.–412.
- Sarma, B. 1960. *Upju hidroloģija. Noteces un hidrometrijas pamati*. Latvijas valsts izdevniecība. Rīga.
- Shaw, E. M., Beven, K.J., Chappell, N.A. & Lamb, R. 2011. *Hydrology in Practice, Fourth Edition*. Spon Press, Abingdon, Oxon, United Kingdom, 235.–280.
- Shen, H.T. 2010. Mathematical modeling of river ice processes. *Cold Regions Science and Technology*. 62, 3.–13.
- Silk, N. & Ciruna, C. (ed.) 2013. *A Practitioner's Guide to Freshwater Biodiversity Conservation*. Island Press, Washington, USA, 67.–72.
- Simpson, H.J. & Colodner, D.C. 1999. Arizona precipitation response to the southern oscillation: a potential water management tool. *Water Resources Research*. 35, 3761.–3769.
- Snelder, T., H. & Booker, D., J. 2013. Natural flow regime classifications are sensitive to definition procedures. *River Research and applications*. 29, 822.–838.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. 1995. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 3rd edition. W. H. Freeman & Co. New York.
- Stakle, P. 1931. *Hidrometriskie novērojumi Latvijā par laiku līdz 31. X 1929*. Finanšu ministrija Jūrnieceības departaments. Rīga.

- Stakle, P. un Kanaviņš, E. 1941. *Latvijas iekšzemes ūdeņu hidrometriskie pētījumi no 1929. g. 1. XI līdz 1940. g. 31. X. Jūrniecības pārvaldes izdevums*. Rīga.
- Stonevicius, E., Stankunavicius, G. & Kilkus, K. 2008. Ice regime dynamics in the Nemunas River Lithuania. *Climate Research*. 36, 17.–28.
- Sztobryn, M., Schmelzer, N., Vainio, J. & Eriksson, P.B. 2009. Sea Ice Index. *Report Series in Geophysics, University of Helsinki*. 61, 82.–91.
- Šarauskiene, D. & Jurgelėnaitė, A. 2008. Impact of climate change on river ice phenology in Lithuania. *Environmental Research, Engineering and Management*. 4(46), 13.–22.
- Takács, K., Kern, Z. & Nagy, B. 2013. Impacts of anthropogenic effects on river ice regime: Examples from Eastern Central Europe. *Quaternary International*. 293, 275.–282.
- Thorsteinsson, T. & Björnsson, H. (ed.). 2011. *Climate change and energy systems. Impacts, risks and adaptation in the Nordic and Baltic countries*. Copenhagen, Denmark, TemaNord.
- Timalsina, N.P., Charmasson, J. & Alfredsen, K.T. 2013. Simulation of the ice regime in a Norwegian regulated river. *Cold Regions Science and Technology*. 94, 61.–73.
- Toone, J.A., Wilby, R.L. & Rice, S. 2011. Surface-water temperature variations and river corridor properties. *IAHS-AISH Publication*. 348, 129.–134.
- Uehlinger, U., Malard, F. & Ward, J.V. 2003. Thermal patterns in the surface waters of a glacial river corridor (Val Roseg, Switzerland). *Freshwater Biology*. 48 (2), 284.–300.
- Van Vliet, M.T.H., Franssen, W.H.P., Yearsley, J.R., Ludwig, F., Haddeland, I., Lettenmaier, D.P. & Kabat, P. 2013. Global river discharge and water temperature under climate change. *Global Environmental Change*. 23 (2), 450.–464.
- Van Vliet, M.T.H., Ludwig, F., Zwolsman, J.J.G., Weedon, G.P. & Kabat, P. 2011. Global river temperatures and sensitivity to atmospheric warming and changes in river flow. *Water Resources Research*. 47 (2), 25.–44.
- Vuglinsky, V.S. 2006. Ice regime in the rivers of Russia, its Dynamics during last decades and possible future changes. *Proceedings on the 18th IAHR International Symposium on Ice*, Sapporo, Japan. 93. – 98.
- Wagner, I. & Breil, P. 2013. The role of ecohydrology in creating more resilient cities. *Ecohydrology & Hydrobiology*. 13, 113.–134.
- Ward, A.D. & Trimble, S.W. 2004. *Environmental Hydrology, Second Edition*. Lewis Publishers, USA, 1.–26.
- Webb, B.W. & Nobilis, F. 1995. Long term water temperature trends in Austrian rivers. *Hydrological Sciences*. 40, 83.–96.
- Webb, B.W. & Nobilis, F. 2007. Long-term changes in river temperature and the influence of climatic and hydrological factors. *Hydrological Sciences Journal*. 52 (1), 74.–85.
- Webb, B.W., Walling, D.E., Zhang, Y. & Clark, E. 1996. Water temperature behaviour in South-West England. In: Merot P., Jigorel A. (eds.) *Hydrologie dans les pays celtiques*. Rennes, France, 53.–64.

- Wilson, D., Hisdal, H. & Lawrence, D. 2010. Has streamflow changed in the Nordic countries? Recent trends and comparisons to hydrological projections. *Journal of Hydrology*. 394 (3/4), 334.–346.
- Xin, Z. & Kinouchi, T. 2013. Analysis of stream temperature and heat budget in an urban river under strong anthropogenic influences. *Journal of Hydrology*. 489, 16.–25.
- Yang, W., Andreasson, J., Graham, L.P., Olsson, J., Rosberg, J. & Wetterhall, F. 2010. Distribution-based scaling to improve usability of regional climate model projections for hydrological climate change impacts studies. *Hydrology Research*. 41(3/4), 211.–229.
- Zīverts, A. & Strūbergs, J. 2000. Hidroloģiskie aprēķini Latvijā (CD). Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Ūdens un Zemes zinātniskais institūts, Jelgava.
- Zīverts, A. 2004. *Hidroloģija (Ievads un hidroloģiskie aprēķini)*. Jelgava, Latvijas Lauksaimniecības universitāte.
- Zīverts, A., Zaķis, G. & Jauja, I. 2000. Ice processes in the Daugava river. In: Nilson T. (ed.) *XXI Nordic Hydrological Conference. Volume 2. NHP Report No 46*. Swedish Hydrological Council, Uppsala. 638.–645.
- Стакле, П.П. 1933. Условия ледового режима латвийских рек, в частности р. Даугавы (Зап. Двина). *Сб. „ IV гидрол. конфер. Балтийских стран ”*.
- Глазачева, Л. И. 1963. Влияние Кегумской ГЭС на сроки замерзания и вскрытия Западной Двины. *Метеорология и гидрология*. 8, 38.– 42.
- Глазачева, Л. И. 1964. *Ледовый и термический режим рек и озер Латвийской ССР*. Автореферат. Тарту, Тартуский государственный университет.
- Глазачева, Л. И. 1965. *Ледовый и термический режим рек и озер Латвийской ССР (Ученые записки географические науки) Том 65*. Рига, Издательство Звайгзне.
- Глазачева, Л. И. 1967. *Типы рек Латвийской ССР по термическому режиму*. Изв. Академии наук Латвийской ССР. 1(234), 53.–63.
- Глазачева, Л.И. 1980. *Гидрологическое районирование*. Латвийский государственный университет, Рига, 44 ст.
- Гринбергс, Л.К. 1965. Затопы льда на рек Даугава и методика их прогнозирования. *Сб. работ РГМО*. 7, 11.–40.
- Михайлов, В., Добровольский, А. и Добролюбов, С. 2005. *Гидрология*. Высшая школа, Москва.
- Пасторс, А. 1964b. Затоп льда на р.Западная Двина (Даугава) в районе Вайкуляни. *Сб. работ Рижской гидрометеорол. обсерватории*. 6, 67.–78.
- Пасторс, А. 1964с. Затопы льда на р. Лиелупе. *Сб. работ Рижской гидрометеорол. обсерватории*. 6, 78.–90.
- Пасторс, А. 1987а. Зажоры и затопы льда на р. Даугаве на участке г. Екабпилс - г. Плявиняс. *Сб. Работ Гидрометеорологического центра*. 1(21), 107. – 120.
- Пасторс, А. 1987b. *Районирование малых рек Латвийской ССР*. Латвийское Республиканское управление по гидрометеорологии и контролю природной среды. Рига.
- Пасторс, А. и Гринбергс, Л.К. 1964. Толщина льда на реках Латвийской ССР. *Сб. работ Рижской гидрометеорол. обсерватории*. 6, 7.–38.

Темникова, Н. С. 1958. *Климат Латвийской ССР*, Издательство Академии Наук Латвийской ССР, Рига.

Эдельштейню, К.К. 2005. *Гидрология материков. Естественные науки. Учебное пособие*. Асадема, Москва.

### Interneta resursi

Arguez, A. & Russell, S.V. 2011. *The definition of the Standard WMO climate normals. The key to deriving alternative climate normals*. Sk. 25.02.2013. Pieejams: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2010BAMS2955.1>

Dubra, V. & Grecevičius, P. [Bez dat.]. *Flood Risk Assessment in the Nemunal River Delta Area of Lithuania: A Case Study*. Sk.03.03.2014. Pieejams: <http://www.ima.org.uk/-db/-documents/Dubra.pdf>

IBM SPSS software. 2015. Sk. 25.02.2015. Pieejams: <http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/>

Jarvis, A., Reuter, H.I., Nelson A. & Guevara, E. 2008. Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m. *Database*. Sk. 23.02.2011. Pieejams: <http://srtm.csi.cgiar.org>.

Lacroix, M.P., Prowse, T.D., Bonsal, B.R., Duguay, C.R. & M'énard, P. 2005. River Ice Trends in Canada. *Proceedings of 13th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers*. Sk.03.03.2014. Pieejams: [http://cripe.civil.ualberta.ca/Downloads/13th\\_Workshop/Lacroix-et-al-2005.pdf](http://cripe.civil.ualberta.ca/Downloads/13th_Workshop/Lacroix-et-al-2005.pdf)

LVĢMC (Latvijas Vides ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs). 2015. Sk. 25.02.2015. Pieejams: <http://www.meteo.lv>

Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., Vries de, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Yong Jung, T., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, A.H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., Rooijen, S., Victor, N. & Dadi, Z. 2000. *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, U.K., Cambridge University Press. Sk. 10.03.2011. Pieejams: <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>

NOAA's National Climatic Data Center. 2011. Sk. 25.02.2013. Pieejams: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/normal/usnormals.html#WHATARENORMALS>

R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. Sk. 01.05.2012. Pieejams: <http://www.R-project.org/>

Schneider, D. & Anderson, R. 2007. Wenatchee River Watershed Temperature Total Maximum Daily Load. *Water Quality Improvement Report. Publication No. 07-10-045* Sk. 31.03.2015. Pieejams: <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/publications/0710045.pdf>

White, K.D., Tuthill, A.M., Vuyovich, C.M. & Weyrick, P.B. 2007. Observed climate variability impacts and river ice in the United States. *Proceedings of 14th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers*. Sk.03.03.2014. Pieejams: [http://cripe.civil.ualberta.ca/Downloads/14th\\_Workshop/White-et-al-2007b.pdf](http://cripe.civil.ualberta.ca/Downloads/14th_Workshop/White-et-al-2007b.pdf)

WMO (*World Meteorological organization*). [Bez dat.]. *World climate data and monitoring programme. WMO Climatological Normals*. Sk. 25.02.2013. Pieejams: [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS\\_1.php](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS_1.php)

### **Nepublicētie materiāli**

IHMS (*Integrated Hydrological Modelling System*). 2008. *Manual Version 6.0*. Swedish Meteorological and Hydrological Institute.

LVĢMA (Latvijas Vides ģeoloģijas un meteoroloģijas aģentūra). 2007. LVĢMA novērojumu programma.

Pastors A., 1964a. Latvijas PSR hidroloģiskie rajoni.

Rudlapa I., 2007. Abavas upes hidroloģiskā režīma ilgtermiņa izmaiņas (1964/1965-2004/2005. hidroloģiskais gads). Bakalaura darbs.

## PIELIKUMS

1. **pielikums.** Novērojumu periodi pētījumā izmantotajās hidroloģisko novērojumu stacijās noteces, termiskajam un ledus režīmam.....124
2. **pielikums.** Noteces modelēšanā izmantoto upju baseinu raksturojums: baseina platība, zemes lietojuma veida procentuālais sadalījums pētāmajā sateces baseinā... 126
3. **pielikums.** Ziemas 30 dienu minimālā (A) un vasaras 30 dienu minimālā caurplūduma (B), gada maksimālā (C) un gada vidējā caurplūduma (D) trendi periodā no 1951. – 2009. gadam .....127
4. **pielikums.** Mann-Kendall testa rezultāti mēneša vidējai ūdens temperatūrai (maijs – oktobris) par laika posmu no 1945. – 2000. gadam .....129
5. **pielikums.** Ledus režīmu raksturojošie lielumi Latvijas upēm laika posmā no 1945. – 2012. gadam .....132
6. **pielikums.** Mann-Kendall testa rezultāti ledus režīmam Latvijas upēs laika posmā no 1945. – 2012. gadam .....134
7. **pielikums.** Mann-Kendall testa rezultāti ledus biezumam Latvijas upēs laika posmā no 1945. – 2012. gadam.....136
8. **pielikums.** Hidroloģisko novērojumu staciju raksturojums, kas izmantotas ledus režīma analīzē Daugavā .....138

**Novērojumu periodi pētījumā izmantotajās hidroloģiskajās novērojumu stacijās  
noteces, termiskajam un ledus režīmam**

HNS	Caurplūdums	Ledus izveidošanās/uzlūšana	Ledus biezums	Ūdens temperatūra
Daugava - Piedruja	-	1945-2012	1945-2012	1945-2000
Daugava - Daugavpils	1951-2009	1945-2012	1945-2012	1945-2000
Daugava - Jēkabpils	1951-2009	1945-2012	1945-2012	1945-2001
Daugava - Krāslava	-	1945-2012	1945-2012	1945-1999
Daugava - Vaikuļāni	-	1945-2012	1945-2012	1946-2000
Daugava - Jersika	-	1945-2012	1945-2012	-
Dubna - Sīļi	1951-2009	1945-2012	1945-2012	1945-2000
Dubna - Višķi	-	1945-2008	-	1945-2000
Aiviekste - Lubāna	-	1945-2012	1945-2012	1945-2000
Aiviekste - Aiviekstes HES	1951-2009	-	-	1952-2000
Pededz - Litene	1951-2009	-	-	1960-2000
Kuja - Aizkuja	-	1945-1995	1945-1995	-
Rēzekne - Griškāni	1951-2009	1945-2012	1945-2012	1945-2000
Balda - Dorotpoļe	-	1945-1995	1945-1995	-
Ogre - Lielpēči	1951-2009	1945-2012	1945-2012	1945-2000
Lielā Jugla - Zaķi	1951-2009	1945-2008	1946-2009	1945-2000
M.Jugla - Stariņi	-	1945-1995	1946-1995	-
Gauja - Tilderi	-	1946-1995	1946-1995	-
Gauja - Velēna	1958-2009	1957-2008	1957-2012	1958-2000
Gauja - Valmiera	-	1945-2012	1945-2012	1945-2000
Gauja - Sigulda	1951-2009	1945-2012	1945-2012	1945-2000
Gauja - Carnikava	-	1945-2012	1945-2012	-
Vaidava - Ape	1951-2009	1950-2001	-	1951-2000
Amata - Melturi	1951-2009	1945-2008	1945-2008	1946-1999
Tirza - Lejasciems	1951-2009	1945-2004	-	1946-2000
Tūlija - Zosēni	-	-	1945-2012	-
Amata - Melturi	1951-2009	1945-2008	1945-2008	1946-1999
Tirza - Lejasciems	1951-2009	1945-2004	-	1946-2000
Tūlija - Zosēni	-	-	1945-2012	-
Lielupe - Mežotne	1951-2009	1945-2012	1945-2012	1945-2000
Lielupe - Jelgava	-	1945-2008	1945-2012	1945-2000
Lielupe - Kalnciems	-	1945-2012	1945-2012	-
Lielupe - Staļģene	-	1945-2012	1945-2012	1945-1999
Lielupe - Sloka	-	-	-	1945-2000
Iecava - Dupši	1953-2006	1945-1995	1945-1995	-

1. pielikuma turpinājums

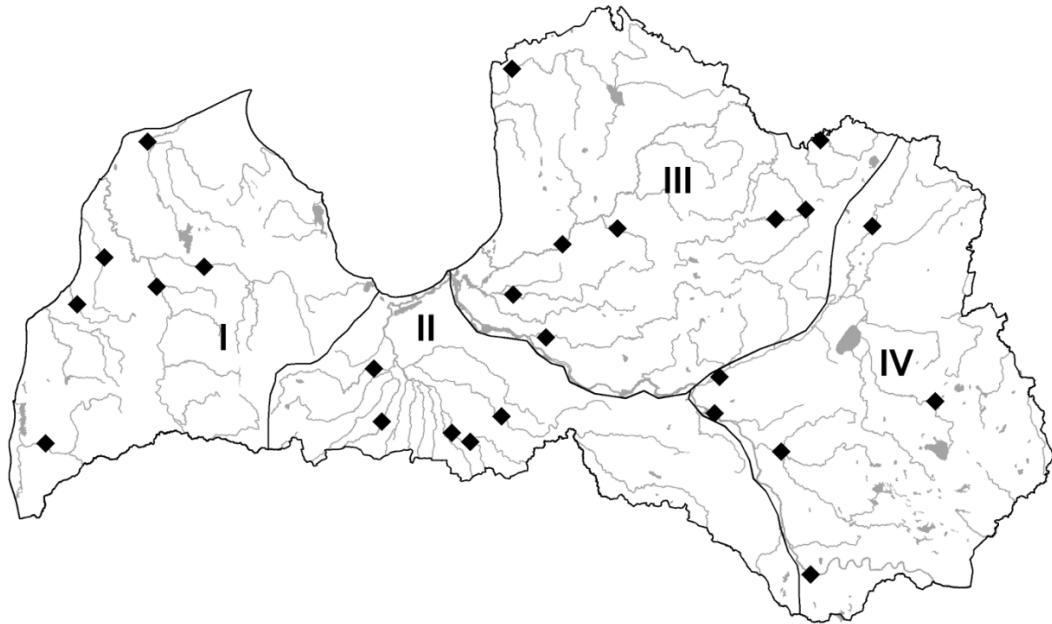
HNS	Caurplūdums	Ledus izveidošanās/uzlūšana	Ledus biezums	Ūdens temperatūra
		Novērojuma periods		
Svēte - Ūziņi	1951-2009	1946-2008	1946-2008	1948-2000
Mūsa - Bauska	1951-2009	1945-2008	1945-2008	1945-2000
Mīsa - Lielveisi	-	1945-1995	1945-1995	-
Bērze - Baloži	1951-2009	-	-	1961-2000
Salaca - Lagaste	1951-2009	1945-2012	1945-2012	1945-2000
Salaca - Mazsalaca	-	1950-2003	-	1951-2000
Venta - Vārdava	-	1945-2008	1945-2008	1946-2000
Venta - Kuldīga	1951-2009	1945-2012	1945-2012	1948-2000
Venta - Vendzava	-	1949-2005	1949-2005	1949-2000
Imula - Pilskalni	-	1945-1995	1945-1996	-
Abava - Renda	1951-2009	1964-2008	-	1964-2000
Irbe - Vičaki	1951-2009	1946-2008	1946-2008	1946-2000
Stende - Ance	-	1945-1995	1945-1995	-
Užava - Tērande	1951-2009	1945-2004	1946-2004	1947-2000
Rīva - Pievīķi	1951-2009	1945-2004	1945-2004	1963-2000
Bārta - Dūkupji	1951-2009	1945-2004	1949-2012	1949-2000

**Noteces modelēšanā izmantoto upju baseinu raksturojums: baseina platība, zemes lietojuma veida procentuālais sadalījums pētāmajā sateces baseinā**

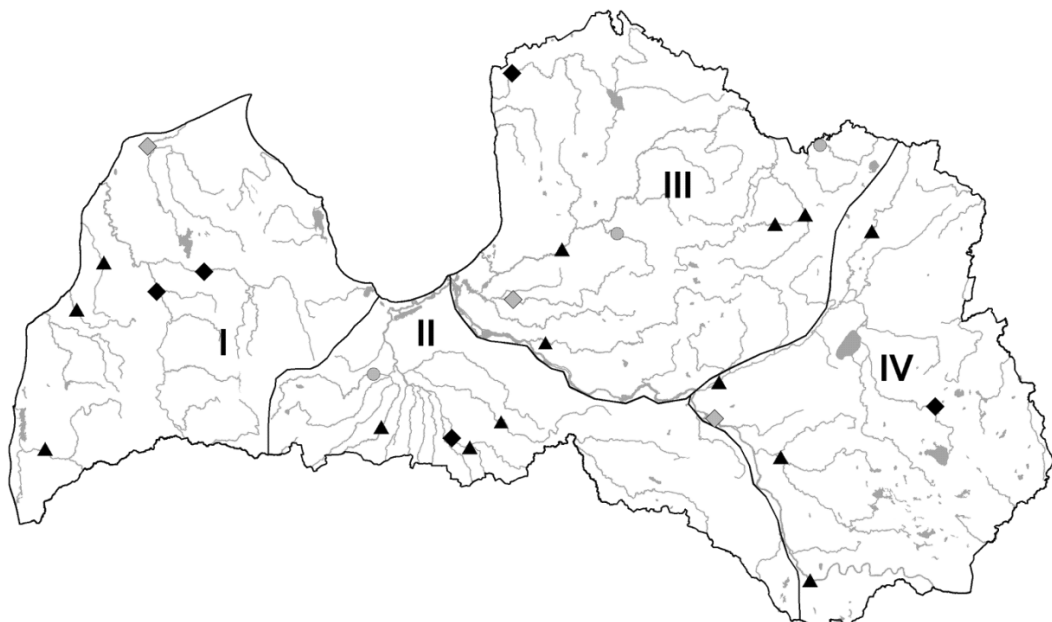
<b>Upes baseins/ HNS</b>	<b>Kopējais sateces baseins, km<sup>2</sup></b>	<b>Pētāmais sateces baseins, km<sup>2</sup></b>	<b>Meži, %</b>	<b>Ezeri, %</b>	<b>Lauksaimniecības zeme, %</b>
Imula/Pilskalni	263	207	47	0,20	53
Dursupe/Jaunpļavas	138	138	59	0	41
Bērze/Baloži	904	904	31	0,9	68
Iecava/Dupši	1166	519	63	5,6	31
Vienziemīte/Vienziemīte	5,92	5,92	14	0	86
Salaca/Lagaste	3420	3220	46	9	46

Ziemas 30 dienu minimālā (A) un vasaras 30 dienu minimālā caurplūduma (B),  
gada maksimālā (C) un gada vidējā caurplūduma (D) trendi periodā no 1951. –  
2009. gadam

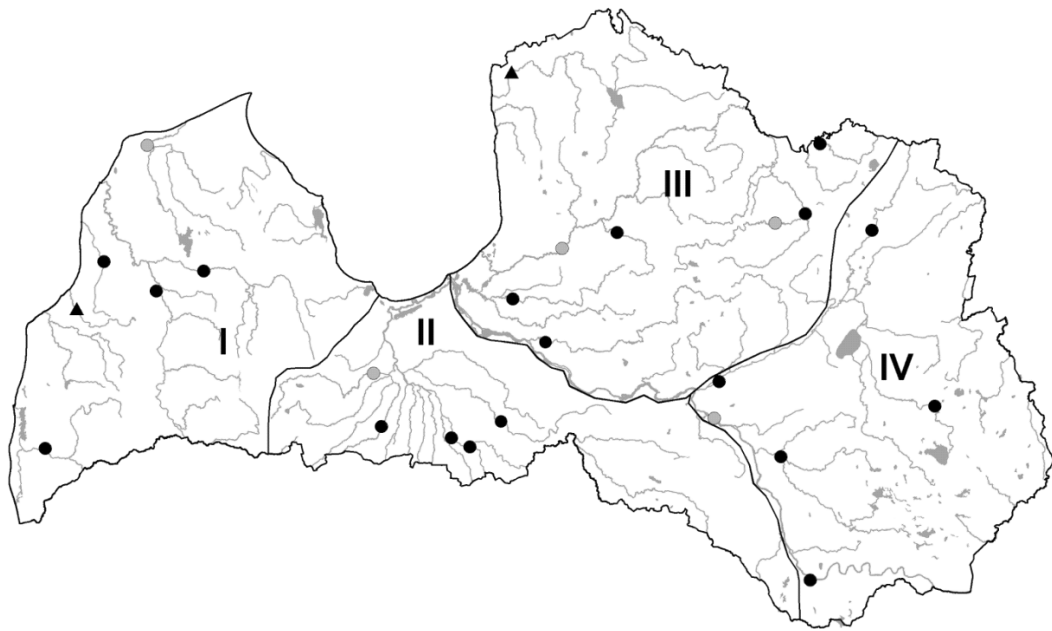
A



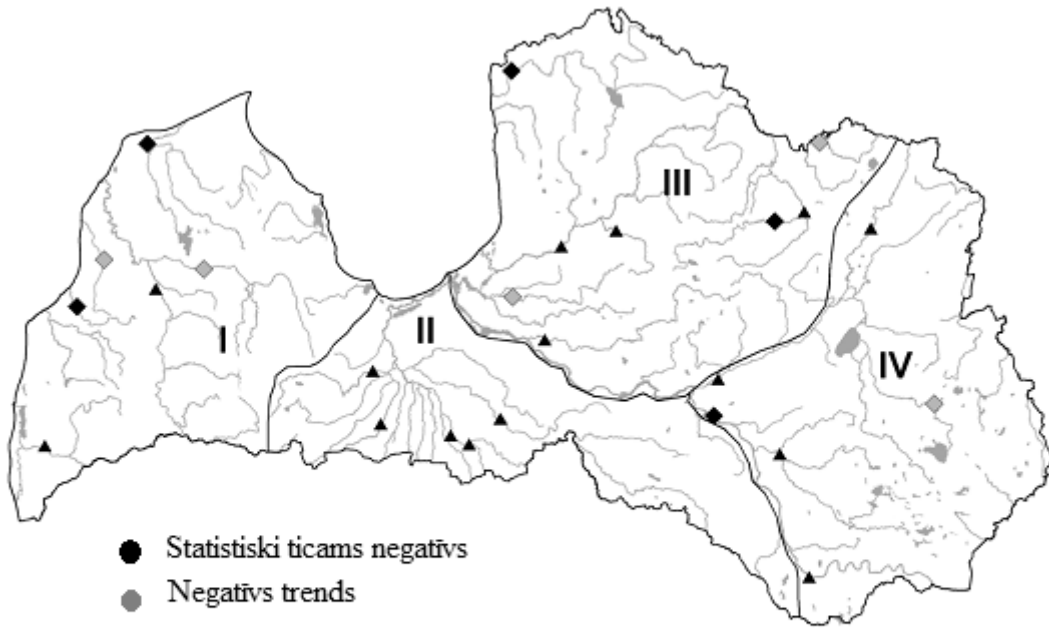
B



C



D



- Statistiski ticams negatīvs
- Negatīvs trends
- ▲ Nav trends
- ◆ Pozitīvs trends
- ◆ Statistiski ticams pozitīvs

Mann-Kendall testa rezultāti mēneša vidējai ūdens temperatūrai (maijs – oktobris) par laika posmu no 1945. – 2000. gadam  
(treknrakstā: statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$ )

Mēnesis	Daugava-Piedruja		Daugava-Krāslava		Daugava-Daugavpils		Daugava - Vaikuļāni		Daugava - Jēkabpils		Aiviekste - Lubāna	
	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība
<i>Maijs</i>	1,38	0,17	1,73	0,08	1,68	0,09	1,04	0,30	1,93	0,05	0,37	0,71
<i>Jūnijs</i>	0,52	0,61	-0,11	0,91	1,08	0,28	0,64	0,52	0,86	0,39	-0,61	0,54
<i>Jūlijs</i>	1,00	0,32	0,56	0,58	0,91	0,36	0,47	0,64	0,80	0,42	-0,57	0,57
<i>Augusts</i>	<b>2,00</b>	<b>0,05</b>	1,58	0,11	1,80	0,07	1,48	0,14	1,63	0,10	0,17	0,87
<i>Septembris</i>	0,37	0,71	-0,29	0,77	0,20	0,84	-0,03	0,98	0,16	0,88	-0,88	0,38
<i>Oktobris</i>	1,78	0,07	1,07	0,29	1,52	0,13	1,57	0,12	1,95	0,05	0,66	0,51

Mēnesis	Aiviekste - Aiviekstes HES		Lielupe - Mežotne		Lielupe - Staļģene		Lielupe - Jelgava		Lielupe - Sloka		Venta - Vārdava	
	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība
<i>Maijs</i>	0,41	0,68	<b>2,02</b>	<b>0,04</b>	0,76	0,45	1,27	0,20	<b>2,06</b>	<b>0,04</b>	1,32	0,19
<i>Jūnijs</i>	-1,05	0,29	1,58	0,11	0,80	0,42	1,36	0,17	1,52	0,13	-0,10	0,92
<i>Jūlijs</i>	-0,40	0,69	0,93	0,35	-0,81	0,42	0,35	0,72	-0,24	0,81	-0,11	0,91
<i>Augusts</i>	0,07	0,94	1,87	0,06	0,69	0,49	1,29	0,20	1,35	0,18	1,02	0,31
<i>Septembris</i>	-0,57	0,57	0,47	0,64	-0,28	0,78	0,02	0,98	0,01	0,99	-0,93	0,35
<i>Oktobris</i>	-0,77	0,44	1,80	0,07	0,05	0,96	0,80	0,42	1,06	0,29	0,78	0,43

## 4. pielikuma turpinājums

Mēnesis	Venta - Kuldīga		Venta - Venzava		Gauja - Valmiera		Gauja - Sigulda		Gauja - Velēna		Salaca - Lagaste	
	Testa vērtība	p- vērtība	Testa vērtība	p- vērtība	Testa vērtība	p- vērtība	Testa vērtība	p- vērtība	Testa vērtība	p- vērtība	Testa vērtība	p- vērtība
<i>Maijs</i>	1,68	0,09	1,57	0,12	1,12	0,26	1,37	0,17	0,63	0,53	1,56	0,12
<i>Jūnijs</i>	0,38	0,70	0,04	0,97	0,10	0,92	0,59	0,55	-0,48	0,63	0,49	0,63
<i>Jūlijs</i>	1,15	0,25	0,67	0,50	-0,42	0,67	-0,49	0,62	-0,45	0,65	-0,21	0,84
<i>Augusts</i>	1,76	0,08	1,56	0,12	0,10	0,92	0,57	0,57	-0,50	0,62	0,17	0,87
<i>Septembris</i>	-0,34	0,74	1,57	0,12	-0,76	0,45	-1,51	0,13	-1,47	0,14	-1,08	0,28
<i>Oktobris</i>	0,35	0,72	0,31	0,76	0,57	0,57	0,75	0,45	-1,21	0,22	0,71	0,48

Mēnesis	Salaca - Mazsalaca		Vaidava-Ape		Amata - Melturi		Tirza - Lejasciems		Dubna - Višķi		Dubna - Sīļi	
	Testa vērtība	p- vērtība	Testa vērtība	p- vērtība	Testa vērtība	p- vērtība	Testa vērtība	p- vērtība	Testa vērtība	p- vērtība	Testa vērtība	p- vērtība
<i>Maijs</i>	<b>2,59</b>	<b>0,01</b>	-0,98	0,33	1,75	0,08	0,22	0,83	<b>2,18</b>	<b>0,03</b>	1,34	0,18
<i>Jūnijs</i>	0,75	0,45	-1,75	0,08	0,49	0,63	-1,55	0,12	1,25	0,21	-0,21	0,83
<i>Jūlijs</i>	1,44	0,15	<b>-2,80</b>	<b>0,01</b>	0,86	0,39	-0,86	0,39	1,10	0,27	-0,87	0,38
<i>Augusts</i>	1,62	0,10	<b>-3,68</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,19	0,85	-0,09	0,93	1,77	0,08	0,17	0,87
<i>Septembris</i>	0,76	0,45	<b>-2,71</b>	<b>0,01</b>	-1,09	0,28	-1,34	0,18	0,20	0,84	-0,88	0,38
<i>Oktobris</i>	0,18	0,86	-1,01	0,31	0,86	0,39	-0,13	0,90	<b>2,11</b>	<b>0,04</b>	1,12	0,26

## 4.pielikuma turpinājums

Mēnesis	Pededze - Litene		Rēzekne - Griškāni		Ogre - Lielpēči		Lielā Jugla - Zaķi		Mūsa - Bauska		Svēte - Ūziņi	
	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība
<i>Maijs</i>	-0,94	0,35	1,34	0,18	1,85	0,06	1,80	0,07	<b>2,21</b>	<b>0,03</b>	1,42	0,16
<i>Jūnijs</i>	<b>-2,76</b>	<b>0,01</b>	0,00	1,00	0,65	0,52	0,30	0,76	1,42	0,16	-0,01	0,99
<i>Jūlijs</i>	-1,87	0,06	-0,08	0,93	0,87	0,38	-0,25	0,80	0,44	0,66	0,46	0,64
<i>Augusts</i>	-1,67	0,09	0,01	0,99	1,81	0,07	0,10	0,92	1,29	0,20	0,79	0,43
<i>Septembris</i>	-1,55	0,12	-0,62	0,53	-0,30	0,76	-0,69	0,49	-0,43	0,67	-1,07	0,29
<i>Oktobris</i>	0,36	0,72	1,53	0,13	1,13	0,26	0,81	0,42	1,49	0,14	0,33	0,74

Mēnesis	Bērze - Baloži		Abava - Renda		Irbe - Vičaki		Užava - Tērande		Rīva - Pievīki		Bārta-Dūkupji	
	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība
<i>Maijs</i>	0,27	0,79	0,57	0,57	1,02	0,31	0,91	0,36	0,21	0,83	-0,06	0,96
<i>Jūnijs</i>	<b>-2,33</b>	<b>0,02</b>	-1,85	0,06	0,58	0,56	0,27	0,79	<b>-1,99</b>	<b>0,05</b>	-1,48	0,14
<i>Jūlijs</i>	-0,55	0,58	-0,03	0,98	-0,30	0,76	0,06	0,95	-1,13	0,26	-1,19	0,23
<i>Augusts</i>	0,75	0,46	-0,23	0,82	1,17	0,24	-0,01	0,99	-1,17	0,24	-0,19	0,85
<i>Septembris</i>	-0,27	0,79	-1,47	0,14	-0,88	0,38	<b>-2,10</b>	<b>0,04</b>	-1,72	0,08	<b>-1,96</b>	<b>0,05</b>
<i>Oktobris</i>	0,08	0,94	-0,50	0,61	1,05	0,29	0,77	0,44	-0,48	0,63	-0,43	0,67

**Ledus režīmu raksturojošie lielumi Latvijas upēm laika posmā no 1945. – 2012. gadam  
(MAX – maksimālais; MIN – minimālais; VID – vidējais; SD - standartnovirze)**

Nr.	HNS	Periods	Ledus izveidošanās datums				Ledus uzlūšanas datums				Ledus segas ilgums, dienās				Gadu skaits bez ledus segas
			MAX	MIN	VID	SD	MAX	MIN	VID	SD	MAX	MIN	VID	SD	
1	Daugava - Piedruja	1945-2012	23.mar	10.nov	21.dec	28,8	19.apr	21.dec	24.mar	20,2	146	3	92	37,0	0
2	Daugava - Daugavpils	1945-2012	14.feb	10.nov	18.dec	23,0	19.apr	14.dec	20.mar	25,1	143	14	91	33,4	0
3	Daugava - Jēkabpils	1945-2012	09.mar	12.nov	04.jan	36,7	18.apr	09.dec	04.mar	42,6	144	0	75	42,0	9
4	Daugava - Krāslava	1945-2012	23.mar	15.nov	20.jan	40,2	17.apr	09.dec	16.feb	51,6	138	0	77	36,6	15
5	Daugava - Vaikuļāni	1945-2012	12.feb	09.nov	14.dec	20,6	19.apr	23.dec	23.mar	20,3	144	27	99	28,2	0
6	Daugava - Jersika	1945-2012	10.feb	08.nov	15.dec	20,1	17.apr	25.dec	23.mar	20,4	144	21	98	30,1	0
7	Dubna - Sīļi	1945-2012	08.mar	07.nov	21.dec	27,1	19.apr	09.dec	16.mar	27,0	146	0	80	43,0	1
8	Dubna - Višķi	1945-2008	09.mar	06.nov	29.jan	43,9	29.mar	03.dec	09.jan	38,7	99	0	18	25,9	33
9	Aiviekste - Lubāna	1945-2012	28.feb	10.nov	15.dec	25,2	26.apr	19.dec	23.mar	23,6	149	9	96	37,4	0
10	Kuja - Aizkuja	1945-1995	08.mar	08.nov	19.dec	27,7	25.apr	08.dec	24.mar	26,3	145	0	95	34,5	1
11	Rēzekne - Griškāni	1945-2012	15.feb	09.nov	13.dec	23,5	24.apr	23.dec	23.mar	22,1	153	7	95	37,8	0
12	Balda - Dorotpoļe	1945-1995	07.feb	30.okt	08.dec	21,9	24.apr	19.dec	24.mar	23,8	155	4	101	37,4	0
13	Ogre - Lielpēči	1945-2012	09.mar	16.nov	07.jan	32,3	22.apr	09.dec	08.mar	40,6	130	0	69	41,2	8
14	Lielā Jugla - Zaķi	1945-2008	09.mar	18.okt	25.dec	34,3	08.apr	09.dec	04.mar	32,0	189	0	76	45,5	3
15	Mazā Jugla - Stariņi	1945-1995	16.feb	09.nov	17.dec	24,1	18.apr	20.dec	22.mar	21,8	136	7	93	32,5	0
16	Gauja - Tilderi	1946-1995	09.mar	10.nov	15.dec	26,8	21.apr	09.dec	21.mar	28,2	147	0	98	34,4	1
17	Gauja - Velēna	1957-2008	08.mar	09.nov	12.dec	23,8	18.apr	09.dec	21.mar	24,5	148	31	101	32,3	1
18	Gauja - Valmiera	1945-2012	08.mar	11.nov	28.dec	26,7	20.apr	09.dec	16.mar	28,9	142	0	78	35,8	1
19	Gauja - Sigulda	1945-2012	10.mar	14.nov	02.jan	29,3	10.apr	09.dec	06.mar	32,7	123	0	65	36,1	4

20	Gauja - Carnikava	1945-2012	10.mar	08.nov	20.dec	27,8	17.apr	09.dec	18.mar	24,7	146	0	88	38,4	1
21	Vaidava - Ape	1950-2001	09.mar	12.nov	27.jan	35,8	03.apr	09.dec	30.jan	42,4	115	0	30	32,5	17
22	Amata - Melturi	1945-2008	09.mar	30.nov	14.jan	30,0	09.apr	08.dec	07.feb	38,2	101	0	28	28,8	10
23	Tirza - Lejasciems	1945-2004	13.feb	07.nov	15.dec	20,4	26.apr	28.feb	28.mar	16,9	143	8	104	26,0	0
24	Lielupe - Mežotne	1945-2012	15.feb	09.nov	20.dec	23,6	14.apr	21.dec	14.mar	23,6	136	8	81	34,0	0
25	Lielupe - Jelgava	1945-2012	04.feb	07.nov	16.dec	21,4	16.apr	23.dec	19.mar	21,1	138	14	91	30,9	0
26	Lielupe - Kalnciems	1945-2012	03.feb	07.nov	13.dec	20,9	17.apr	08.jan	20.mar	21,5	140	9	94	30,6	0
27	Lielupe - Stalģene	1945-2012	08.mar	09.nov	16.dec	24,7	13.apr	09.dec	15.mar	26,6	146	0	90	32,0	1
28	Iecava - Dupši	1945-1995	08.mar	11.nov	22.dec	22,3	19.apr	09.dec	17.mar	27,0	142	0	87	31,0	1
29	Svēte - Ūziņi	1946-2008	15.feb	11.nov	18.dec	23,2	16.apr	18.dec	12.mar	28,8	134	6	80	37,9	0
30	Mūsa - Bauska	1945-2008	17.mar	08.nov	26.dec	30,5	12.apr	09.dec	01.mar	34,6	132	0	66	37,3	3
31	Misa - Lielveisi	1945-1995	08.mar	16.nov	26.dec	25,6	20.apr	09.dec	22.mar	26,5	138	0	88	33,2	2
32	Salaca - Lagaste	1945-2012	18.mar	14.nov	18.dec	34,9	22.apr	09.dec	28.feb	45,9	133	0	57	42,0	12
33	Salaca - Mazsalaca	1950-2003	09.mar	10.nov	06.feb	37,1	06.apr	09.dec	13.dec	41,1	93	0	19	25,0	28
34	Venta - Vārdava	1945-2008	09.mar	19.nov	22.dec	33,8	11.apr	09.dec	12.feb	47,0	115	0	42	38,5	17
35	Venta - Kuldīga	1945-2012	09.mar	19.nov	07.jan	28,2	13.apr	09.dec	30.jan	37,5	125	0	54	36,5	6
36	Venta - Vendzava	1949-2005	09.mar	19.nov	31.dec	25,2	15.apr	09.dec	09.mar	35,0	129	0	69	35,2	2
37	Imula - Pilskalni	1945-1995	14.mar	31.okt	25.dec	25,5	19.apr	09.dec	04.mar	33,4	121	5	62	36,8	0
38	Abava - Renda	1964-2008	09.mar	16.nov	12.jan	35,2	08.apr	09.dec	18.feb	43,7	126	0	51	40,7	8
39	Irbe - Vičaki	1946-2008	09.mar	06.dec	04.feb	31,4	08.apr	09.dec	01.feb	48,6	114	0	32	36,8	25
40	Stende - Ance	1945-1995	09.mar	20.dec	12.jan	30,4	20.apr	09.dec	02.mar	41,1	129	0	59	39,0	6
41	Užava - Tērande	1945-2004	09.mar	13.nov	07.jan	29,6	10.apr	09.dec	24.feb	38,8	115	0	52	36,6	5
42	Rīva - Pievīķi	1945-2004	23.mar	16.nov	15.jan	32,7	12.apr	09.dec	24.feb	42,7	129	0	54	40,6	10
43	Bārta - Dūkupji	1945-2004	09.mar	16.nov	15.jan	30,3	13.apr	09.dec	22.feb	39,8	121	0	48	36,6	7

**Mann-Kendall testa rezultāti ledus režīmam Latvijas upēs laika posmā no 1945. – 2012. gadam  
(treknrakstā: statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$ ).**

No	HNS	Novērojumu skaits	Aizsalšana		Uzlūšana		Novērojumu skaits	Ledstāves ilgums		Bardzības indekss	
			Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība		Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība
1	Daugava - Piedruja	67	<b>2,47</b>	0,01	<b>-3,82</b>	< 0,001	67	<b>-3,96</b>	< 0,001	<b>-4,14</b>	< 0,001
2	Daugava - Daugavpils	67	1,48	0,14	<b>-4,56</b>	< 0,001	67	<b>-3,94</b>	< 0,001	<b>-4,11</b>	< 0,001
3	Daugava - Jēkabpils	65	<b>2,35</b>	0,02	<b>-2,55</b>	0,01	63	<b>-2,25</b>	0,02	<b>-3,10</b>	< 0,001
4	Daugava - Krāslava	64	-0,80	0,42	-0,45	0,65	45	<b>-2,66</b>	0,01	-0,89	0,38
5	Daugava - Vaikuļāni	64	1,48	0,14	<b>-3,60</b>	< 0,001	64	<b>-3,34</b>	< 0,001	<b>-4,18</b>	< 0,001
6	Daugava - Jersika	64	<b>2,01</b>	0,04	<b>-3,19</b>	< 0,001	64	<b>-2,86</b>	< 0,001	<b>-3,75</b>	< 0,001
7	Dubna - Sīļi	67	<b>3,81</b>	< 0,001	<b>-4,33</b>	< 0,001	67	<b>-5,45</b>	< 0,001	<b>-5,58</b>	< 0,001
8	Dubna - Višķi	63	<b>4,75</b>	< 0,001	<b>-4,42</b>	< 0,001	63	<b>-4,63</b>	< 0,001	<b>-4,90</b>	< 0,001
9	Aiviekste - Lubāna	66	1,59	0,11	<b>-4,11</b>	< 0,001	66	<b>-2,92</b>	< 0,001	<b>-3,28</b>	< 0,001
10	Kuja - Aizkuja	51	0,88	0,38	<b>-2,39</b>	0,02	51	<b>-2,37</b>	0,02	<b>-2,37</b>	0,02
11	Rēzekne - Griškāni	67	<b>2,53</b>	0,01	<b>-3,91</b>	< 0,001	67	<b>-4,86</b>	< 0,001	<b>-5,01</b>	< 0,001
12	Balda - Dorotpoļe	51	0,77	0,44	<b>-3,67</b>	< 0,001	51	<b>-3,78</b>	< 0,001	<b>-3,78</b>	< 0,001
13	Ogre - Lielpēči	68	1,26	0,21	<b>-3,19</b>	< 0,001	68	<b>-2,78</b>	0,01	<b>-2,78</b>	0,01
14	Lielā Jugla - Zaķi	63	<b>2,14</b>	0,03	<b>-2,67</b>	0,01	63	-0,80	0,42	-0,39	0,70
15	Mazā Jugla - Stariņi	50	1,14	0,26	<b>-2,58</b>	0,01	50	<b>-2,12</b>	0,03	-1,69	0,09
16	Gauja - Tilderi	49	1,22	0,22	<b>-2,59</b>	0,01	49	<b>-1,96</b>	0,05	-1,05	0,29
17	Gauja - Velēna	52	<b>2,57</b>	0,01	<b>-3,62</b>	< 0,001	50	<b>-3,70</b>	< 0,001	<b>-4,95</b>	< 0,001
18	Gauja - Valmiera	65	1,65	0,10	<b>-3,56</b>	< 0,001	64	<b>-3,92</b>	< 0,001	<b>-4,82</b>	< 0,001
19	Gauja - Sigulda	67	<b>2,43</b>	0,02	<b>-3,48</b>	< 0,001	67	<b>-4,02</b>	< 0,001	<b>-4,19</b>	< 0,001
20	Gauja - Carnikava	67	<b>2,14</b>	0,03	<b>-3,99</b>	< 0,001	67	<b>-3,51</b>	< 0,001	<b>-3,70</b>	< 0,001
21	Vaidava - Ape	52	-0,33	0,74	-0,46	0,65	52	-0,71	0,48	-0,71	0,48

22	Amata - Melturi	63	0,90	0,37	<b>-2,15</b>	0,03	63	<b>-2,60</b>	0,01	<b>-3,52</b>	< 0,001
23	Tirza - Lejasciems	60	-0,75	0,46	<b>-2,70</b>	0,01	60	-0,75	0,45	-0,75	0,45
24	Lielupe - Mežotne	68	1,66	0,10	<b>-3,06</b>	< 0,001	68	<b>-2,36</b>	0,02	<b>-2,36</b>	0,02
25	Lielupe - Jelgava	65	1,48	0,14	<b>-3,25</b>	< 0,001	65	<b>-2,62</b>	0,01	<b>-2,62</b>	0,01
26	Lielupe - Kalnciems	65	1,21	0,23	<b>-3,06</b>	< 0,001	65	<b>-2,98</b>	< 0,001	-1,89	0,06
27	Lielupe - Staļģene	65	-0,03	0,98	<b>-3,20</b>	< 0,001	65	-1,56	0,12	<b>-2,31</b>	0,02
28	Iecava - Dupši	50	0,44	0,66	<b>-3,58</b>	< 0,001	50	<b>-2,24</b>	0,03	<b>-2,24</b>	0,03
29	Svēte - Ūziņi	62	1,21	0,23	<b>-4,00</b>	< 0,001	62	<b>-3,43</b>	< 0,001	<b>-3,43</b>	< 0,001
30	Mūsa - Bauska	61	0,32	0,75	<b>-2,81</b>	< 0,001	61	<b>-2,28</b>	0,02	<b>-2,28</b>	0,02
31	Misa - Lielveisi	47	0,40	0,69	-0,33	0,74	47	-0,08	0,94	-1,43	0,15
32	Salaca - Lagaste	68	0,12	0,91	<b>-3,25</b>	< 0,001	66	<b>-2,23</b>	0,03	<b>-2,62</b>	0,01
33	Salaca - Mazsalaca	53	<b>2,71</b>	0,01	<b>-3,00</b>	< 0,001	51	<b>-2,94</b>	< 0,001	-1,44	0,15
34	Venta - Vārdava	64	<b>2,49</b>	0,01	<b>-3,94</b>	< 0,001	64	<b>-3,79</b>	< 0,001	<b>-4,46</b>	< 0,001
35	Venta - Kuldīga	68	0,80	0,42	<b>-3,22</b>	< 0,001	68	<b>-2,85</b>	< 0,001	<b>-2,85</b>	< 0,001
36	Venta - Vendzava	57	-0,15	0,88	<b>-3,09</b>	< 0,001	57	<b>-2,54</b>	0,01	<b>-2,25</b>	0,02
37	Imula - Pilskalni	50	-1,63	0,10	<b>-3,53</b>	< 0,001	50	<b>-2,11</b>	0,03	<b>-5,62</b>	< 0,001
38	Abava - Renda	44	1,68	0,09	<b>-2,66</b>	0,01	44	<b>-3,32</b>	< 0,001	1,41	0,16
39	Irbe - Vičaki	62	<b>2,33</b>	0,02	<b>-3,16</b>	< 0,001	62	<b>-2,61</b>	0,01	<b>-2,68</b>	0,01
40	Stende - Ance	50	<b>2,33</b>	0,02	<b>-3,17</b>	< 0,001	50	<b>-3,01</b>	< 0,001	<b>-5,66</b>	< 0,001
41	Užava - Tērande	56	-0,74	0,46	<b>-3,68</b>	< 0,001	55	<b>-2,59</b>	0,01	<b>-3,06</b>	< 0,001
42	Rīva - Pievīķi	58	1,63	0,10	<b>-3,41</b>	< 0,001	58	<b>-2,56</b>	0,01	<b>-3,68</b>	< 0,001
43	Bārta - Dūkupji	55	1,08	0,28	<b>-3,24</b>	< 0,001	55	<b>-2,60</b>	0,01	<b>-2,67</b>	0,01
			Procenti, %		Procenti, %			Procenti, %		Procenti, %	
		Pozitīvs trends	51,2	Stat.tic. negatīvs	93,0		Stat.tic. negatīvs	88,4	Stat.tic. negatīvs	76,7	
		Stat.tic. pozitīvs	32,6	Negatīvs	7,0		Negatīvs	11,6	Negatīvs	23,3	
		Negatīvs	16,3								

**Mann-Kendall testa rezultāti ledus biežumam Latvijas upēs laika posmā no 1945. – 2012. gadam  
(treknrakstā: statistiski būtiskas izmaiņas pie  $p < 0,05$ ).**

No	HNS	Novērojumu skaits	Vidējais ledus biežums		Novērojumu skaits	Max ledus biežums		Max ledus biežuma datums	
			Testa vērtība	p-vērtība		Testa vērtība	p-vērtība	Testa vērtība	p-vērtība
1	Daugava - Piedruja	68	<b>-3,00</b>	< 0,001	61	<b>-3,47</b>	< 0,001	-1,44	0,15
2	Daugava - Daugavpils	68	<b>-2,03</b>	0,04	66	-1,17	0,24	-0,34	0,73
3	Daugava - Jēkabpils	67	-0,31	0,76	53	-0,45	0,65	<b>-2,65</b>	0,01
4	Daugava - Krāslava	68	0,40	0,69	24	0,13	0,90	-1,13	0,26
5	Daugava - Vaikuļāni	68	-1,82	0,07	58	<b>-2,22</b>	0,03	-1,67	0,09
6	Daugava - Jersika	68	<b>-1,94</b>	0,05	63	<b>-2,13</b>	0,03	-0,67	0,50
7	Dubna - Sīļi	68	<b>-2,63</b>	0,01	50	<b>-3,62</b>	< 0,001	-0,99	0,32
8	Aiviekste - Lubāna	67	<b>-2,87</b>	< 0,001	61	<b>-3,43</b>	< 0,001	<b>-3,26</b>	< 0,001
9	Kuja - Aizkuja	51	<b>3,20</b>	< 0,001	35	-1,24	0,21	-1,19	0,24
10	Rēzekne - Griškāni	68	0,43	0,66	63	-1,04	0,30	-1,48	0,14
11	Balda - Dorotpoļe	51	-1,28	0,20	45	-0,79	0,43	-1,52	0,13
12	Ogre - Lielpēči	68	<b>-2,13</b>	0,03	47	<b>-2,54</b>	0,01	-0,69	0,49
13	L.Jugla - Zaķi	64	<b>-3,09</b>	< 0,001	43	<b>-4,91</b>	< 0,001	-0,91	0,36
14	M.Jugla - Stariņi	50	<b>-1,96</b>	0,05	45	-1,50	0,13	-1,30	0,20
15	Gauja - Tilderi	49	<b>-4,32</b>	< 0,001	46	<b>-2,76</b>	0,01	<b>-2,00</b>	0,04
16	Gauja - Velēna	55	<b>-2,18</b>	0,03	51	<b>-2,26</b>	0,02	<b>-2,74</b>	0,01
17	Gauja - Valmiera	54	<b>-2,05</b>	0,04	54	<b>-2,38</b>	0,02	<b>-3,40</b>	< 0,001
18	Gauja - Sigulda	68	<b>-3,13</b>	< 0,001	47	<b>-3,92</b>	< 0,001	-1,02	0,31
19	Gauja - Carnikava	68	0,27	0,78	45	0,27	0,78	-0,61	0,54
20	Amata - Melturi	63	<b>-3,95</b>	< 0,001	41	<b>-3,56</b>	< 0,001	-0,53	0,60

21	Tūlija - Zosēni	68	-1,00	0,32	61	-1,16	0,25	-0,51	0,61
22	Lielupe - Mežotne	68	-1,66	0,10	62	<b>-1,96</b>	0,05	-1,74	0,08
23	Lielupe - Jelgava	68	-1,23	0,22	63	-1,19	0,24	<b>-2,85</b>	< 0,001
24	Lielupe - Kalnciems	66	<b>5,29</b>	< 0,001	37	-1,47	0,14	0,26	0,79
25	Lielupe - Staļģene	68	<b>-3,06</b>	< 0,001	58	<b>-3,11</b>	< 0,001	-1,63	0,10
26	Iecava - Dupši	50	-1,66	0,10	48	-0,97	0,33	-1,29	0,20
27	Svēte - Ūziņi	63	<b>-2,80</b>	0,01	59	<b>-2,29</b>	0,02	-1,54	0,12
28	Mūsa - Bauska	65	-0,40	0,69	54	-1,75	0,08	<b>-2,33</b>	0,02
29	Mīsa - Lielveisi	49	<b>-4,03</b>	< 0,001	29	<b>-3,53</b>	< 0,001	-0,85	0,40
30	Salaca - Lagaste	68	<b>-3,33</b>	< 0,001	48	<b>-3,19</b>	< 0,001	<b>-2,11</b>	0,03
31	Venta - Vārdava	66	<b>-3,37</b>	< 0,001	40	<b>-3,82</b>	< 0,001	-1,49	0,14
32	Venta - Kuldīga	68	<b>-3,08</b>	< 0,001	53	<b>-3,87</b>	< 0,001	-1,41	0,16
33	Venta - Vendzava	60	<b>-2,68</b>	0,01	41	<b>-3,16</b>	< 0,001	-0,97	0,33
34	Imūla - Pilskalni	51	<b>-2,30</b>	0,02	42	-1,49	0,14	<b>-2,76</b>	0,01
35	Irbe - Vičaki	62	<b>-3,73</b>	< 0,001	28	<b>-3,67</b>	< 0,001	-1,23	0,22
36	Stende - Ance	50	<b>-2,17</b>	0,03	34	<b>-2,31</b>	0,02	-1,78	0,07
37	Rīva - Pievīķi	60	1,36	0,17	27	<b>-3,57</b>	< 0,001	-1,44	0,15
38	Bārta - Dūkupji	58	<b>-3,30</b>	< 0,001	38	<b>-3,71</b>	< 0,001	-0,48	0,63
			Procenti, %			Procenti, %		Procenti, %	
		Stat.tic. negatīvs	63,2		Stat.tic. negatīvs	63,2	Stat.tic. negatīvs	23,7	
		Pozitīvs	10,5		Pozitīvs	5,3	Negatīvs	76,3	
		Stat.tic.pozitīvs	5,3		Negatīvs	31,5			
		Negatīvs	21,0						

**Hidroloģisko novērojumu staciju raksturojums, kas izmantotas ledus režīma analizē Daugavā**

<b>HNS</b>	<b>Attālums no upes ietekas, km</b>	<b>Novērojuma periods</b>	<b>HES ietekme</b>
Piedruja	354	1944./45. – 2011./12.	Nav
Daugavpils	256	1921./22. – 2011./12.	Nav
Jersika	214	1931./32. – 2011./12.	Nav
Jēkabpils	172	1919./20. – 2011./12.	Nav tieša
Pļaviņas	152	1930./31. – 2011./12.	Kopš 1968. gada
Dzelzlejas	124	1931./32. – 1965./66.	Nav tieša
Jaunjelgava	98	1919./20. – 1994./95.	Kopš 1939. gada
Ogre	55	1926./27. – 1956./57.	Kopš 1939. gada
Lipši	39	1928./29. – 1971./72.	Kopš 1939. gada
Maruška	30	1922./23. – 1985./86.	Kopš 1974. gada
Sarkanais Kvadrāts	22	1941./42. – 1986./87.	Kopš 1974. gada