

Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte
Latvia University of Life Sciences and Technologies

Vides un būvzinātņu fakultāte
Faculty of Environment and Civil Engineering



Mg.oec. Ieva Siksnāne 

**AGROHIDROLOGISKO FAKTORU IEDEJKUMS NOVĒRTĒJUMS UZ
LAUKSAIMNIECĪBAS NOTECES KVALITĀTI**

***THE IMPACT ASSESSMENT OF AGROHYDROLOGICAL FACTORS ON
THE QUALITY OF AGRICULTURAL RUNOFF***

Promocijas darba KOPSAVILKUMS
zinātnes doktora grāda (Ph.D.) iegūšanai

SUMMARY

of the Doctoral thesis for the Doctoral degree of Science (*Ph.D.*)

Jelgava

2023

INFORMĀCIJA

Promocijas darbs izstrādāts: Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Vides un būvzinātņu fakultātes Vides un ūdenssaimniecības katedrā laika posmā no 2017. līdz 2023. gadam.

Promocijas darba zinātniskais vadītājs: Dr.sc.ing. Ainis Lagzdiņš, Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes profesors.

Oficiālie recenzenti:

Profesors, Dr. (HP) Arvydas Povilaitis, Vītauta Dižā Universitāte, Lietuva;
Profesore, Dr.habil.sc.ing. Dagnija Blumberga, Rīgas Tehniskā universitāte;
Docents, Dr.geogr. Juris Burlakovs, Latvijas Universitāte.

Promocijas padomes sastāvs:

Profesors, Dr.sc.ing. Ainis Lagzdiņš, promocijas padomes priekšsēdētājs;
Profesors, Dr.habil.chem. Māris Klaviņš, promocijas padomes priekšsēdētāja vietnieks;
Docente, Dr.sc.ing. Laima Bērziņa;
Docents, Dr.geogr. Juris Burlakovs;
Profesors, Dr.sc.ing. Edmunds Teirumnieks;
Vadošā pētniece, Dr.chem. Zane Vincēviča-Gaile;
Pētniece, Ph.D. Linda Grinberga, promocijas padomes sekretāre.

Promocijas darba aizstāvēšana notiks LBTU zinātņu nozares “Vides inženierija un enerģētika” apakšnozarē “Vides inženierzinātne” promocijas padomes atklātā sēdē 2023. gada 31. augustā plkst. 15:00 Jelgavā, Akadēmijas ielā 19, Vides un būvzinātņu fakultātes 117. auditorijā.

Ar promocijas darba kopsavilkumu var iepazīties LBTU Fundamentālajā bibliotēkā, Jelgavā, Lielā ielā 2 un tiešsaistē <http://lbtufb.lbtu.lv>.

Atsauksmes sūtīt Promocijas padomes sekretārei, LBTU Vides un būvzinātņu fakultātes Vides un ūdenssaimniecības katedras, pētniecei Ph.D. Lindai Grinbergai (Akadēmijas ielā 19, Jelgava, Latvija, LV-3001, e-pasts: linda.grinberga@lbtu.lv).

INFORMATION

The research was carried out at the Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Environment and Civil Engineering, Department of Environmental Engineering and Water management from 2017. to 2023.

Scientific supervisor: Dr.sc.ing. **Ainis Lagzdiņš**, Professor of Latvia University of Life Sciences and Technologies.

Official reviewers:

Professor, Dr. (HP) Arvydas Povilaitis, Vytautas Magnus University, Lithuania;
Professor, Dr.habil.sc.ing. Dagnija Blumberga, Riga Technical University;
Assisstant professor, Dr.geogr. Juris Burlakovs, University of Latvia.

Promotion Board:

Professor, Dr.sc.ing. Ainis Lagzdiņš, chairman;
Professor, Dr.habil.chem. Māris Kļaviņš, vice-chairman;
Assisstant professor, Dr.sc.ing. Laima Bērziņa;
Assisstant professor, Dr. geogr. Juris Burlakovs;
Professor, Dr.sc.ing. Edmunds Teirumnieks;
Leading researcher, Dr.chem. Zane Vincēviča-Gaile;
Researcher, Ph.D. Linda Grinberga, the secretary of the Promotion Board.

The thesis will be defended at a public session of the Promotion Board of the Sector of Environmental Engineering and Energy on August 31, 2023, at 15:00. Venue: 19 Akademijas Street, Jelgava, Faculty of Environment and Civil Engineering, auditorium 117.

The thesis and the summary of the thesis are available at the Fundamental Library of Latvia University of Life Sciences and Technologies, 2 Liela street, Jelgava, and online <http://llufb.llu.lv>.

References should be addressed to the secretary of the Promotion Board, researcher of the Faculty of Environment and Civil Engineering, Department of Environmental Engineering and Water management Ph.D. Linda Grinberga (19 Akademija street, Jelgava, Latvia, LV-3001, e-mail: linda.grinberga@lbtu.lv).

SATURS / CONTENT

1. Līdzšinējo pētījumu analīze	13
1.1. Virszemes ūdeņu kvalitāti ietekmējošie apstākļi	13
1.2. Lauksaimniecības noteces kvalitāti un kvantitāti ietekmējošie agrohidroloģiskie faktori.....	16
1.2.1. Dabisko faktoru ietekme uz lauksaimniecības noteces sastāvu	18
1.2.2. Antropogēno faktoru ietekme uz lauksaimniecības noteces sastāvu.....	20
2. Materiāli un metodes	22
2.1. Pētījuma objektu raksturojums	22
2.1.1. Lauksaimniecības noteču monitoringa objekti.....	23
2.2. Pētījumā pielietoto datu apstrādes metožu izvēle un raksturojums.....	26
3. Rezultāti un diskusija.....	29
3.1. Monitoringa objektu ūdens ķīmiskā sastāva raksturojums	29
3.2. Dabisko faktoru ietekme uz slāpekļa un fosfora savienojumu izskalošanos	
33	
3.3. Antropogēno faktoru ietekme uz slāpekļa un fosfora savienojumu izskalošanos	38
3.4. Dabisko un antropogēno faktoru savstarpējā ietekme uz slāpekļa un fosfora savienojumu izskalošanos	41
Secinājumi un priekšlikumi	46

1. Analysis of previous research	55
1.1. Conditions affecting surface water quality	55
1.2. Agrohydrological factors affecting the quality and quantity of agricultural runoff.....	58
1.2.1. Influence of natural factors on the composition of agricultural runoff	60
1.2.2. Influence of anthropogenic factors on the composition of agricultural runoff.....	62
2. Materials and methods	64
2.1. Description of the study objects.....	64

2.1.1. Monitoring sites for agricultural runoff	65
2.2. Choice and characteristics of data processing methods used in the study ..	68
3. Results and discussion	71
3.1. Description of the water chemistry at the monitoring sites.....	71
3.2. Effect of natural factors on leaching of nitrogen and phosphorus compounds 75	
3.3. Effect of anthropogenic factors on leaching of nitrogen and phosphorus compounds	80
3.4. Mutual effect of natural and anthropogenic factors on leaching of nitrogen and phosphorus compounds	83
Conclusions and suggestions	88
Informācijas avotu bibliogrāfiskais saraksts / Sources of bibliography.....	90

IEVADS

Ūdens resursus izmanto dažādu tautsaimniecības nozaru darbības nodrošināšanai. Nozīmīgākās nozares, kas patēri virszemes un pazemes ūdeņus, Latvijā ir komunālie pakalpojumi (aptuveni 45%), lauksaimniecība (aptuveni 25%) un rūpniecība (aptuveni 20%) (Vides politikas pamatnostādnes 2021). Būtiska slodze uz iekšzemes ūdeņiem ir piesārņojums ar augu barības vielām (biogēnajiem elementiem), kuru galvenie avoti ir rūpniecības un komunālie noteikūdeņi, kā arī lauksaimniecības notece (Eiropas Revīzijas Palāta 2016; HELCOM 2021). Latvija atrodas Baltijas jūra piekrastē, kas ir viena no piesārnotākajām jūrām pasaule (Baltic Sea 2021). Saskaņā ar HELCOM Baltijas jūras rīcības plānu un Eiropas Ekonomikas Kopienas 2019. gada ziņojumu, lauksaimniecība (lauksaimnieciskas izcelsmes nitrātu - slāpeklis) ir galvenais virszemes ūdeņu izkliedētā (difuzā) piesārņojuma avots, kas galvenokārt saistīts ar paaugstinātām augu barības vielu un ķīmisko vielu emisijām (European Commision Report 2019; HELCOM 2007). Baltijas jūrā ar upju noteci nonāk aptuveni 78% no visa slāpeķa un 95% no visa fosfora piesārņojuma (Eiropas Revīzijas Palāta 2016).

Augu barības vielu iznese ar lauksaimniecības noteci ir nenovēršams process, ja augu barības vielu daudzums augsnē pārsniedz augiem nepieciešamo vielu uzņemšanas iespējas, veidojas virszemes ūdeņu piesārņojums ar augu barības vielām. Kā nozīmīgākā negatīvā slāpeķa un fosfora savienojumu piesārņojuma izpausme noteikta intensīva eitrofikācijas procesu norise (paaugstinātā augu augšanas un atmīršanas intensitāte, augu barības vielu piesārņojuma dēļ), kā arī hipoksijas procesa (samazināta skābekļa koncentrācija) norise iekšzemes ūdensobjektos (Howarth 2008; Moore et al. 2010), kā arī Rīgas līci un Baltijas jūrā (HELCOM 2021). Lai arī ilgtermiņā Baltijas jūras ūdens kvalitāte uzlabojas, ziņojumā par Baltijas jūras stāvokli (periodam no 2011. līdz 2016. g.) secināts, ka aptuveni 96% Baltijas jūras reģiona teritorijas ir novērtēta ar sliktu un vidēju kvalitāti, tostarp visa atklātā jūras zona un 86% piekrastes ūdeņu (HELCOM 2018). Ūdens sistēma ir vienota, tādēļ Baltijas jūras ūdens kvalitāti ietekmē iekšzemes teritorijā esošo virszemes ūdensobjektu ekoloģiskā kvalitāte, t.sk., augu barības vielu koncentrācija un apjoms.

Labas virszemes un pazemes ūdeņu kvalitātes nodrošināšanai un ūdens resursu ilgtspējīgas izmantošanas veicināšanai, kā arī ūdens resursu aizsardzības nodrošināšanai un kvalitātes uzlabošanai, izveidoti un ieviesti vairāki reglamentējoši Eiropas Savienības un Latvijas mēroga dokumenti un normatīvie akti. Nozīmīgkie dokumenti ES līmenī ir Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2000/60/EK sistēmas izveidei par rīcību ūdens politikas jomā (piņemta 2000. gada 23. oktobrī) (Ūdens struktūrdirektīva) un Padomes Direktīva 91/676/EEK (piņemta 1991. gada 12. decembrī) attiecībā uz ūdeņu aizsardzību pret piesārņojumu, ko rada lauksaimnieciskas izcelsmes

nitrātu - slāpeklis (Nitrātu direktīva), kā arī 1974. un 1992. gada Baltijas jūras reģiona jūras vides aizsardzības konvencija (Helsinki konvencija). Nitrātu direktīvā norādīta prasība dalībvalstīm identificēt īpaši jūtīgās zonas (zemes platības, kur nonāk ūdeņi, ko ietekmē vai var ietekmēt piesārņojums), izstrādāt rīcības programmu un īstenot tajā ietvertos pasākumus, lai ierobežotu visu veidu slāpeklī saturoša mēslojuma izmantošanu un sakārtotu kūtsmēslu uzglabāšanas kārtību, veikt ūdens monitoringu, kā arī noteikta NO₃ maksimāli pieļaujamās koncentrācijas robežvērtība (EU Nitrates Directive 1991). HELCOM 2021. gada oktobra ziņojumā secināts, ka 2007. gadā izvirzītais mērķis Baltijas jūrai sasniegta labu ekoloģisko kvalitāti 2021. gadā nav sasniegt, 2021. gadā HELCOM Baltijas jūras rīcības plāns atjaunots un tajā noteikts dalībvalstīm līdz 2025. gadam novērst un būtiski samazināt visa veida piesārņojumu, t.sk., piesārņojumu ar augu barības vielām (HELCOM 2021). Ūdens struktūrdirektīvā (2000/60/EK) sākotnēji noteikts mērķis līdz 2015. gadam sasniegta labu virszemes ūdens stāvokli (stāvoklis, kādu virszemes ūdensobjekts sasniedz tad, kad gan ekoloģiskie, gan fizikāli-ķīmiskās kvalitātes rādītāji ir vismaz “labi”) visiem virszemes ūdensobjektiem ES (EU Water Framework Directive 2000). Kvalitātes faktori ekoloģiskās kvalitātes rādītāju klasifikācijai upēm Ūdens struktūrdirektīvā (2000/60/EK) noteikti: bioloģiskie faktori, hidromorfoloģiskie faktori un fizikāli-ķīmiskās kvalitātes faktori (EU Water Framework Directive 2000). Noteiktajā termiņā mērķis kopumā tika sasniegt 40% ES virszemes ūdensobjektu (EEA 2018). Lai nodrošinātu noteiktā mērķa izpildi, direktīvas prasība tika pārskatīta un noteikts visu ūdensobjektu labu kvalitatīvo un kvantitatīvo stāvokli sasniegt līdz 2027. gadam (Vides politikas pamatnostādnes 2021). Vienlaicīgi Vides aizsardzības nozares vidēja termiņa politikas plānošanas dokumentā, kuru izstrādā VARAM “Vides politikas pamatnostādnes 2021. – 2027. gadam”, kura mērķi ir pakārtoti Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģijas līdz 2030. gadam un Latvijas nacionālās attīstības plānam 2021. – 2027. gadam, noteikts mērķis līdz 2027. gadam virszemes ūdensobjektu īpatsvaram, kuri atbilst augstai un labai ekoloģiskai kvalitātei sasniegt 35% (ietver bioloģisko, hidromorfoloģisko un fizikāli-ķīmisko rādītāju novērtējumu), kā arī noteikts samazināt slāpeklā un fosfora slodzes Baltijas jūrā atbilstoši HELCOM Baltijas jūras rīcības plānā noteiktajiem mērķim (Vides politikas pamatnostādnes 2021). Lai skaidrotu augu barības vielu zudumu iemeslus un rastu pamatojumu virszemes ūdensobjektu ekoloģiskās kvalitātes uzlabošanas risinājumiem, nepieciešams noteikt agrohidroloģiskos faktorus, kuri ietekmē lauksaimniecības noteces sastāvu un augu barības vielu izskalošanos no lauksaimniecības teritorijām.

Pētījuma mērķis: novērtēt agrohidroloģisko faktoru ietekmi uz lauksaimniecības noteces kvalitātvajiem rādītājiem Latvijā.

Pētījuma uzdevumi:

1. noteikt dabiskos un antropogēnos faktorus, kas ietekmē augu barības vielu zudumus;

2. raksturot nozīmīgāko dabisko faktoru ietekmi uz slāpekļa un fosfora savienojumu izskalošanos lauksaimniecības noteču pētījuma teritorijās Latvijā drenu lauka, mazā sateces baseina un upes līmenī;

3. raksturot nozīmīgāko antropogēno faktoru ietekmi uz slāpekļa un fosfora savienojumu izskalošanos lauksaimniecības noteču pētījuma teritorijās Latvijā drenu lauka un upes līmenī;

4. novērtēt dabisko un antropogēno faktoru savstarpejās saistības ietekmi uz slāpekļa un fosfora savienojumu izskalošanos upes izpētes līmenī.

Aizstāvēsanai izvirzītā tēze: dabiskie un antropogēnie agrohidroloģiskie faktori ietekmē gada vidējo N_{kop} , NO_3-N , NH_4-N , P_{kop} un PO_4-P koncentrāciju mainību lauksaimniecības noteču pētījuma objektos.

Promocijas darba zinātniskā novitāte: darbam ir augsta zinātniskā nozīme Latvijas un starptautiskā kontekstā, jo augu barības vielu zudumu ietekmējošo faktoru analīze ar augstu detalizācijas pakāpi, trīs savstarpejī pakārtotos izpētes līmeņos (drenu lauka, mazā sateces baseina un upes līmenis) Latvijā veikta pirmo reizi. Darba novitāte ietver augsnes granulometriskā sastāva, kultūraugu, drenēto platību īpatsvara, kā arī dzīvnieku vienību skaita sateces baseinā kā atsevišķu faktoru ietekmes izvērtējumu uz augu barības vielu koncentrācijām. Papildus veiktā pētījuma zinātnisko novitāti nosaka daudzfaktoru (vidējā gaisa temperatūra, gada vidējo nokrišņu summa, drenēto platību īpatsvars daļbaseinā, mākslīgo (urbāno) platību īpatsvars daļbaseinā, lauksaimniecības platību īpatsvars daļbaseinā, mežu un dabisko platību īpatsvars daļbaseinā, mitrzemju (purvu) īpatsvars daļbaseinā, ūdenstilpņu īpatsvars daļbaseinā, grants īpatsvars daļbaseinā, mālainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, smilšainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, mālsmilts augšņu īpatsvars daļbaseinā, smilšmāla augšņu īpatsvars daļbaseinā, purva (kūdras) augšņu īpatsvars daļbaseinā, vidējais dzīvnieku vienību skaits daļbaseinā pētījuma periodā) summārās ietekmes izvērtējums uz gada vidējo N_{kop} , NO_3-N , NH_4-N , P_{kop} un PO_4-P koncentrāciju vērtībām lauksaimniecības noteču pētījuma objektos. Iegūtie rezultāti, kas raksturo nozīmīgākos agrohidroloģiskos faktorus, kas ietekmē lauksaimniecības noteces kvalitāti, sniedz priekšstatu par nepieciešamajiem pasākumiem un ieviešanai piemērotām teritorijām, lai uzlabotu noteces kvalitāti Latvijas valsts mērogā un citviet.

Promocijas darba praktiskais pielietojums: darbam ir praktiskā pielietojuma iespējas Latvijas un starptautiskā kontekstā, jo nosakot nozīmīgākos dabiskos un antropogēnos agrohidroloģiskos faktorus, kas ietekmē augu barības vielu izskalošanos no lauksaimniecības platībām Latvijā un izvērtējot faktoru

saistību, mijiedarbību un ietekmi, rezultātus iespējams izmantot augu bariņas vielu zudumu prognozēšanai līdzvērtīgās lauksaimniecības teritorijās, kā arī rezultātus iespējams izmantot ierosinājumu izstrādei par augsnes un ūdens apsaimniekošanas pasākumiem lauksaimniecības zemēs, izmantot upju baseinu apsaimniekošanas plānu veidošanā, kā arī Nitrātu direktīvas (91/676/EK) mērķa “samazināt ūdens piesārņojumu, ko rada lauksaimnieciskas izcelsmes nitrātu - slāpeklis, un novērst turpmāku šādu piesārņojumu” un Ūdens struktūrdirektīvas (2000/60/EK) mērķa “apturēt stāvokļa paslīktināšanos ES ūdenstilpnēs un sasniegt “labu stāvokli” Eiropas upēs, ezeros un gruntsūdeņos” izpildei.

Pētījumā izmantoti dati par Lauksaimniecības noteču monitoringa pētījumiem dažādos savstarpēji saistītos izpētes līmeņos (drenu lauks, mazais sateces baseins un upe), kuru realizācijas nepieciešamību nosaka Vides politikas pamatnostādnes 2021. – 2027. gadam un uz tās pamata izstrādātā Vides monitoringa programma 2021. – 2026. gadam, 2. nodala “Ūdeņu monitoringa programma”. Vides politikas pamatnostādnes 2021. – 2027. gadam 2. sadalā noteikti mērķi valsts vides monitoringa jomā un 2.2.7. punktā raksturots rezultatīvais rādītājs “nodrošināts Lauksaimniecības noteču monitorings” (Vides politikas pamatnostādnes 2021). Papildus promocijas darba izstrādē izmantoti projekta “Latvijas upju baseinu apsaimniekošanas plānu ieviešana laba virszemes ūdens stāvokļa sasniegšanai” (LIFE GoodWater IP, LIFE18 IPE/LV/000014) īstenošanas gaitā iegūtie dati un VSIA “Latvijas Vides ģeoloģijas un meteoroloģijas centra” meteoroloģisko novērojumu dati.

ZINĀTNISKĀS PUBLIKĀCIJAS

1. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2022) *The effects of meteorological and hydrological conditions on nutrient losses from agricultural areas in Latvia*. Environmental and Climate Technologies 2022, 26 (1), p. 512 – 523.
2. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2021) *Temporal trends in phosphorus concentrations and losses from agricultural monitoring sites in Latvia*. Environmental and Climate Technologies 2021, 25 (1), p. 233 – 242.
3. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2021) *The relationships between land use and nitrogen and phosphorus concentrations in the Berze River basin*. Engineering for Rural Development 2021, 20, p. 417 – 423.
4. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2020) *Temporal trends in nitrogen concentrations and losses from agricultural monitoring sites in Latvia*. Environmental and Climate Technologies 2020, 24 (3), p. 163 – 173.
5. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2018) *Analysis of Precipitation and Runoff Conditions in Agricultural Runoff Monitoring Sites*. Rural Sustainability Research 2018, 39 (334), p. 26 – 31.

6. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2017) *Assessment of economic losses associated with nitrogen and phosphorus leaching in agricultural land in Latvia*. Proceedings of the 8th International Scientific Conference Rural Development 2017, Aleksandras Stulginskis University, p. 423 – 427.
7. Lagzdiņs A., Grinberga L., **Siksnane I.** (2016) *Drainage water management in open ditches - solutions and effects in Latvia*. Proceedings of the 10th International Drainage Symposium Conference, 6-9 September 2016, Minneapolis, Minnesota, p. 160 – 165.
8. **Siksnane I.**, Dobeļe A. (2016) *Determination of the most Effective Decontamination Options for Agricultural Runoff in Latvia Using Solutions Included in HELCOM Baltic Sea Action Plan*. Proceedings of the 11th International Scientific Conference “Students on their Way to Science”, p. 156.
9. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2015) *Soil Erosion Risk Evaluation in MPS Vecauce Agricultural Areas*. Proceedings of the 10th International Scientific Conference “Students on their Way to Science”, p. 81.

ZINĀJUMI KONFERENCĒS

1. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2023) *Sateces baseina laukuma un zemes lietojuma veida ietekme uz augu bariņas vielu koncentrācijām LIFE GoodWater IP četros demonstrācijas ūdensobjektos*. 81st Scientific conference of University of Latvia, section “Investigations and protection of water”. Rīga, Latvija, 2023. gada 15. marts.
2. Lagzdins A., **Siksnane I.**, Sudars R., Veinbergs A., (2023) *Mērķtiecīgs ūdeņu kvalitātes monitorings lauksaimnieciskās darbības ietekmes novērtēšanai: LIFE GoodWater IP projekta pieja*. 81st Scientific conference of University of Latvia, section “Investigations and protection of water”. Rīga, Latvija, 2023. gada 15. marts.
3. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2023) *Long-term monitoring of runoff from agricultural areas in Latvia*. 81st Scientific conference of University of Latvia, section “Climate and surface and ground-water in the Baltic region – variability, trends, and impacts”. Tiešsaiste, 2023. gada 10. marts.
4. Lagzdins A., Veinbergs A., **Siksnane I.**, Abramenko K., Grinberga L., Sudars R. (2023) *The long-term results of the Agricultural Runoff Monitoring Programme in Latvia – nitrate – nitrogen concentrations and loads*. 81st Scientific conference of University of Latvia, section “Climate and surface and ground-water in the Baltic region – variability, trends, and impacts”. Tiešsaiste, 2023. gada 10. marts.

5. Lagzdins A., Veinbergs A., Grinberga L., **Siksnane I.**, Sudars R., Abramenko K. (2022) *The long-term results of the Agricultural Runoff Monitoring Programme in Latvia: nitrate – nitrogen concentrations*. The International Interdisciplinary Conference on Land Use and Water Quality: Agriculture and the Environment (LuWQ2022). Māstrihta, Nīderlande, 2022. gada 11. – 15. septembris.
6. Lagzdins A., **Siksnane I.**, Sudars R. (2022) *Targeted water quality monitoring for implementation of river basin management plans in Latvia: the approach of the LIFE GOODWATER IP project*. The International Interdisciplinary Conference on Land Use and Water Quality: Agriculture and the Environment (LuWQ2022). Māstrihta, Nīderlande, 2022. gada 11. – 15. septembris.
7. **Siksnane I.**, Lagzdins A. *Analysis of the impacts of meteorological and hydrological variability on quality of agricultural runoff in Latvia*. The International Interdisciplinary Conference on Land Use and Water Quality: Agriculture and the Environment (LuWQ2022). Māstrihta, Nīderlande, 2022. gada 11. – 15. septembris.
8. Lagzdins A., Veinbergs A., **Siksnane I.**, Grinberga L. (2022) *The Long-Term Results of the Agricultural Runoff Monitoring Programme in Latvia*. The 11th International Drainage Symposium, Des Moines, Iowa, ASV, 2022. gada 30. augusts – 2. septembris
9. Lagzdins A., **Siksnane I.**, Sudars R., Veinbergs A., Grinberga L. (2022) *Water Quality Monitoring for Targeted Implementation of Water and Nutrient Retention Measures in Latvia: An Example of the LIFE GOODWATER IP Project*. The 11th International Drainage Symposium, Des Moines, Iowa, ASV, 2022. gada 30. augusts – 2. septembris
10. Lagzdins A., **Siksnane I.**, Sudars R., Veibergs A., Grinberga L. (2022) *Implementation of River Basin Management Plans of Latvia towards good surface water status - LIFE GOODWATER IP*. XXXI Nordic Hydrological Conference: Hydrology and Water-related Ecosystems (NHC2022), Tallina, Igaunija, 2022. gada 15. – 18. augusts.
11. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2022) *Impact of the catchment area and land use on nutrient concentrations in the water bodies selected within the LIFE GOODWATER IP project*. XXXI Nordic Hydrological Conference: Hydrology and Water-related Ecosystems (NHC2022), Tallina, Igaunija, 2022. gada 15. – 18. augusts.
12. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2022) *The effects of meteorological and hydrological conditions on nutrient losses from agricultural areas in Latvia*. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies (CONECT 2022), Rīga, Latvija, 2022. gada 11. – 13. maijs.
13. Lagzdins A., Veinbergs A., **Siksnane I.**, Grinberga L. (2022) *The Results of the Agricultural Runoff Monitoring Programme in Latvia: an Overview*.

- International seminar “Soil and Water Conservation under changing climate in Northern and high-altitude conditions”, Ås, Norway, 2022. gada 4. – 6. maijs.
14. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2021) *Temporal trends in phosphorus concentrations and losses from agricultural monitoring sites in Latvia*. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies (CONECT 2021), Rīga, Latvija, 2021. gada 12. – 14. maijs.
15. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2020) *Temporal trends in nitrogen concentrations and losses from agricultural monitoring sites in Latvia*. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies (CONECT 2020), Rīga, Latvija, 2020. gada 13. – 15. maijs.
16. Grinberga L., Lagzdins A., **Siksnane I.** (2018) *The seasonal impacts on nutrient retention in two constructed wetlands in Latvia*. European Geosciences Union General Assembly 2018, Vīne, Austrija, 2018. gada 8. – 13. aprīlis.
17. Grinberga L., Lagzdins A., **Siksnane I.** (2018) *Nitrogen, phosphorus and suspended solid retention efficiency in two constructed wetlands in Latvia*. European Geosciences Union General Assembly 2018, Vīne, Austrija, 2018. gada 8. – 13. aprīlis.
18. Lagzdins A., Sudars R., Veinbergs A., Abramenko K., Grinberga L., **Siksnane I.** (2018) *Evaluating the status and trends in water quality using long-term agricultural runoff monitoring data*. European Geosciences Union General Assembly 2018, Vīne, Austrija, 2018. gada 8. – 13. aprīlis.
19. Lagzdins A., Grinberga L., **Siksnane I.** (2018) *Practical actions for holistic agricultural drainage management for reduced nutrient losses: a case study in Latvia*. European Geosciences Union General Assembly 2018, Vīne, Austrija, 2018. gada 8. – 13. aprīlis.
20. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2018) *Analysis of Meteorological and Runoff Conditions at Agricultural Runoff Monitoring Sites*. Research for Rural Development 2018, Jelgava, Latvija, 2018. gada 17. maijs.
21. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2017) *Assessment of Economic Losses Associated with Nitrogen and Phosphorus Leaching in Agricultural Land in Latvia*. 8th International Scientific Conference Rural Development 2017, Aleksandras Stulginskis University, Kauņa, Lietuva, 2017. gada 24. novembris.
22. **Siksnane I.**, Dobeļe A. (2016) *Determination of the most Effective Decontamination Options for Agricultural Runoff in Latvia Using Solutions Included in HELCOM Baltic Sea Action Plan*. 11th International Scientific Conference “Students on their Way to Science”, Jelgava, Latvija, 2016. gada 22. aprīlis.
23. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2015) *Soil Erosion Risk Evaluation in MPS Vecauce Agricultural Areas*. 10th International Scientific Conference “Students on their Way to Science”, Jelgava, Latvija, 2015. gada 24. aprīlis.

1. LĪDZŠINĒJO PĒTĪJUMU ANALĪZE

Nodaļā konspektīvi raksturoti virszemes ūdeņu kvalitāti ietekmējošie apstākļi, lauksaimniecības noteces kvalitāti un kvantitāti ietekmējošie agrohidroloģiskie faktori, kā arī aprakstīta dabisko un antropogēno faktoru ietekme uz lauksaimniecības noteces sastāvu.

1.1. Virszemes ūdeņu kvalitāti ietekmējošie apstākļi

Pieejamais saldūdens resurss veido aptuveni 1% no visiem ūdens krājumiem (Rogers 2008), tā sadalījums pasaules reģionos ir neviendabīgs. Tieki prognozēts, ka līdz ar iedzīvotāju skaita palielināšanos, pieprasījums pēc saldūdens palielināsies par aptuveni 1% gadā (WWAP 2018), vienlaicīgi līdz 2025. gadam apgabalos, kuros ir ūdens trūkums, dzīvos aptuveni 1.8 miljardi cilvēku (Rogers 2008). Ūdens izmantošanu ietekmē tā kvalitāte un kvantitāte, vietai raksturīgie klimatiskie un meteoroloģiskie apstākļi, kā arī ekonomikas, rūpniecības un lauksaimniecības nozares attīstība, mainīgi ūdens patēriņa modeļi, valstu normatīvais regulējums ražošanas un ūdenssaimniecības jomās (WWAP 2017). Ūdens resursa izmantošanu ietekmē arī tā spēja izkliedēt dažadas vielas – ūdens spēj izšķidināt vairāk vielu kā jebkura cito zināmā vielu uz planētas, tādēļ ir pastiprināti jutīgs pret piesārņojumu. Ūdens piesārņojuma veidus iedala kategorijās atkarībā no piesārņojuma īpašībām un izcelsmes avota:

- ķīmisks (neorganiskās vielas, naftas produkti, virsmaktīvās vielas, pesticīdi, organiskās vielas), fizikāls (siltuma piesārņojums, atkritumi) un bioloģisks piesārņojums (ūdensobjektam neraksturīgu dzīvnieku, augu, sēnu, baktēriju, vīrusu klātbūtnē);
- punktveida (koncentrēts) un difūzais (izkliedētais) piesārņojums.

Ūdens apritē ir iesaistīti visi ūdens resursi, t.sk., litosfēras un atmosfēras ūdeņi, tādēļ izmaiņas jebkurā ūdens sistēmas tīkla posmā var radīt kēdes efektu, apdraudot ūdens resursus globāli: gruntsūdeņus, drenu notezi un virszemes ūdeņus, t.sk., grāvju tīklu, upes, ezerus, jūras un okeānus (Zhang et al. 2021). Ūdenim piemīt dabiska pašattīrišanās spēja, taču, līdz ar patēriņa palielināšanos un palielināto noteķudeņu apjomu, kā arī rūpniecības nozares attīstību, tīra ūdens resursa daudzums globāli samazinās, tādēļ ir nepieciešams iespēju robežās samazināt un limitēt ūdens piesārņojumu.

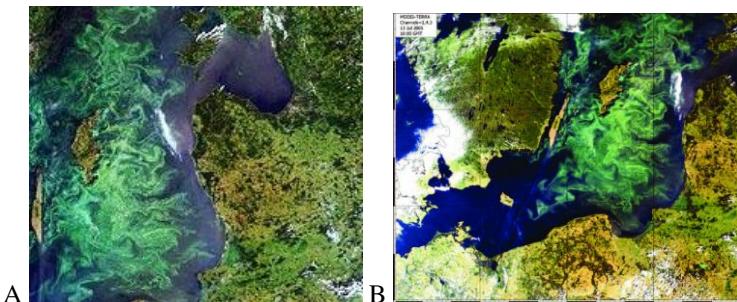
Latvija ir bagāta ar ūdens resursiem: 12 400 upju, strautu un lielo grāvju, ap 4 000 ezeru un ūdenskrātuvju kopā aizņem 3.7% no valsts teritorijas (VARAM 2013). Ūdeņu aizsardzības un ilgtspējas nodrošināšanai reģionalā mērogā Latvijā tiek veidotai upju baseinu apgabalu apsaimniekošanas plāni (Daugavas, Gaujas, Lielupes un Ventas upju baseins), kas tiek izstrādāti 6 gadu periodam (jaunākais 2021. – 2027. g.). Upju monitoringa rezultāti apkopoti VSIA “Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs” (LVGMC) veidotā ikgadējā pārskatā par virszemes un pazemes ūdeņu stāvokli (Upju baseinu apgabalu apsaimniekošanas plāni 2021). Saskaņā ar LVGMC pārskatiem, kurā ūdensobjektu kvalitātes

kopējais vērtējums ir noteikts pēc fizikāli – ķīmiskajiem un bioloģiskajiem rādītājiem, kur noteicošais ir bioloģisko rādītāju novērtējums, virszemes ūdeņu kvalitātes monitoringa rezultāti liecina, ka augstai vai labai ekoloģiskai kvalitātei 2015. gadā atbilst 31% ūdensobjektu (50 novērojumu stacijas), 2016. gadā 24% (85 novērojumu stacijas), 2017. gadā 21% (136 novērojumu stacijas), 2018. gadā 32% ūdensobjektu (144 novērojumu stacijas), 2019. gadā 30% ūdensobjektu (137 novērojumu stacijas), 2020. gada 52% ūdensobjektu (69 novērojumu stacijas) (LVGMC 2021b). LVGMC 2020. gada pārskatā secināts, ka augstai kvalitātei atbilst 21% ūdensobjektu, labai kvalitātei atbilst 31% ūdensobjektu, vidējai kvalitātei atbilst 43% ūdensobjektu, sliktai un ļoti sliktai ekoloģiskās kvalitātes klasei atbilst attiecīgi 4% un 1% ūdensobjektu (LVGMC 2021c).

Lai novērtētu lauksaimniecības noteces kvalitāti un kvantitatī ietekmējošos faktorus, jāizvērtē slodzes uz virszemes ūdensobjektiem Latvijā. Latvijas iekšzemes ūdeņu galvenie slodžu avoti ietver rūpniecību un komunālo saimniecību (ūdens resursu izmantošana, noteķudeņu apjoms, novadišana, bīstamo vielu noplūde), noteici no lauksaimniecības zemēm (augu barības vielu apjoms, difūzais (izkliedētais) un punktveida piesārņojums), iekšzemes rūpniecisko un individuālo zveju un akvakultūras produkcijas ražošanu, svešzemju un invazīvo sugu skaita palielināšanos Rīgas līcī un Baltijas jūrā, hidromorfologiskos pārveidojumus (HES, dambji, polderi u.c.), klimata izmaiņas (gaisa temperatūras izmaiņas), plūdus (būtisks nokrišņu daudzums īsā laika periodā), tūrismu un rekreāciju, kā arī pārrobežu piesārñojošo vielu pārnesi, (Vides politikas pamatnostādnes 2021).

Lauksaimniecību ietekmē dažādi dabīgie, ekonomiskie, sociālie un politiskie faktori, t.sk. raksturīgais klimats, zemes lietošanas veids, kā arī sateces baseinu raksturīgie biogeogrāfiskie apstākļi (Geographical Factors Influencing Agriculture 2020). Pēdējā pusgadsimta laikā lauksaimniecības nozare ir paplašinājusies un intensificējusies, lai apmierinātu palielināto pārtikas pieprasījumu, ko izraisījušas iedzīvotāju skaita izmaiņas (European Commission Report 2019). Lauksaimniecības platības aizņem aptuveni 47% no visu 27 ES dalībvalstu un Apvienotās Karalistes teritorijas, lauksaimniecības produkcijas apjoms laikposmā no 2010. gada līdz 2019. gadam palielinājās par 14.5% (European Commision Report 2019). Lauksaimniecības nozare ir ne tikai lielākais pasaules saldūdens resursu patēriņtājs, bet arī veicina ūdens piesārņošanu (Bechmann et al. 2009; WWAP 2017). Lai arī eitrofikācijas procesa un zilaļgu attīstību ūdensobjektos (1.1. attēls), kā arī to apjomu ietekmē dažādi faktori, t.sk., ilgstoša augsta gaisa temperatūra (veicina ūdensaugu attīstību), mazs vēja plūsmas ātrums (aizkavē ūdens sajaukšanos) un saules radiācija (alģes absorbē saules gaismu, paaugstinot ūdens temperatūru), intensīvu procesa izplatību veicina arī palielināta slāpeķļa un fosfora attiecība ūdenī (WWAP 2017). Ūdenstilpēs palielinoties augu barības vielu daudzumam, palielinās tajās esošo ūdensaugu un organismu apjoms, ūdenī izšķidūšais skābeklis tiek izmantots gan

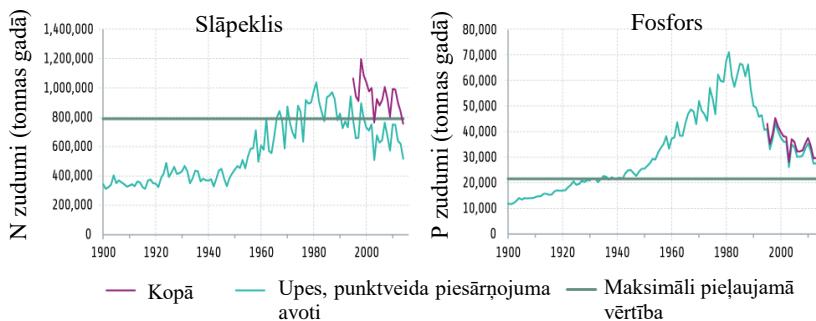
to augšanai, gan sadalīšanās procesā, kas rezultējas ar paaugstinātu skābekļa daudzuma patēriņu un ietekmē skābekļa pieejamību lokāli izplatītajiem dzīvajiem organismiem (WWAP 2017).



1.1. att. Eitrofikācijas process Baltijas jūrā, satelītattēli, 2005. g. jūlijs

A: (WWF 2011), B: (Kostianoy et al. 2006)

Helsinki konvencija ir pirmā starptautiskā vienošanās pasaulē jūras vides aizsardzībai, kurā eitrofikācija tika atzīta kā būtisks process, kas liecina par Baltijas jūras ūdens kvalitātes pasliktināšanos. Tā tika pieņemta 1974. gadā (Latvijā parakstīta 1992. gadā) un 2007. gadā apstiprinātā stratēģiskā rīcības plāna (HELCOM Baltijas jūras rīcības plāna) ietvaros dalībvalstu saistojas dokumentos joprojām tiek integrēti dažādi pasākumi ar mērķi eitrofikācijas procesa samazināšanai un novēršanai. Augu barības vielu zudumu izmaiņas periodā no 1900. g. līdz 2014. g. apkopotas 1.2. attēlā.



1.2. att. Augu barības vielu zudumi Baltijas jūrā periodā no 1900. g. līdz 2014. g. (HELCOM 2018)

Pētījuma periodā augu barības vielu zudumi ir samazinājušies, taču kopumā pārsniedz vai ir tuvu maksimāli pieļaujamai vērtībai.

1.2. Lauksaimniecības noteces kvalitāti un kvantitāti ietekmējošie agrohidroloģiskie faktori

HELCOM Baltijas jūras rīcības plānā (2021) ietrafikācijas segmentā kā galvenās iekļautas piecas tēmas: augu barības vielu daudzuma mērķu īstenošanas pārraudzība, lauksaimniecība, atmosfēras slāpekļa emisijas, noteikūdeņu sektors un barības vielu pārstrāde. Lauksaimniecības tēmā kā pārvaldības mērķis noteikts samazināt cilvēku darbības radītu augu barības vielu iznesi, kā galvenie ekoloģiskie mērķi norādīti: augu barības vielu koncentrāciju daudzums tuvs dabiskajam līmenim, dzidrs ūdens, dabisks algū ziedēšanas līmenis, dabiska augu un dzīvnieku izplatība, kā arī dabisks skābekļa līmenis.

Lai sasniegtu labu Baltijas jūras ekoloģisko kvalitāti ilgtermiņā, HELCOM Baltijas jūras rīcības plāna 2021. gadā atjaunotajā versijā, maksimālā pieļaujamā N_{kop} un P_{kop} izskalošanās Baltijas jūrā noteikta 792 209 tonnas N_{kop} un 21 716 tonnas P_{kop} gadā, t.sk., Rīgas līcī 88 417 tonnas N_{kop} un 2 020 tonnas P_{kop} (HELCOM 2021). Lai sasniegtu noteiktos mērķus, nepieciešams izvērtēt faktorus, kas veicina Baltijas jūras piesārņojumu ar augu barības vielām.

Vairākos citu autoru pētījumos ir pierādīts, ka piesārņojumu ietekmē daudzi faktori un to mijiedarbība, t.sk., dabisko un antropogēno faktoru:

- Misselbrook *et al.* (1995) pētījumā norāda, ka noteces apjomu, kā arī augu barības vielu zudumu apjomu, ietekmē augsnes tips (augsnes infiltrācijas koeficients un ūdens uzkrāšanas spēja), atmosfēras nokrišņu daudzums un intensitāte, kā arī zemes virsmas slīpums;
- Mander *et al.* (1998) pētījumā apstiprina, ka augu barības vielu zudumus ietekmē zemes lietojuma veids un meteoroloģiskie apstākļi;
- Tumas (2000) pētījumā par izkliedētā (difuzā) piesārņojuma avotiem Lietuvā, secinājis, ka slāpekļa un fosfora savienojumu transportēšanu no lauksaimniecības teritorijām uz virszemes ūdensobjektiem ietekmē klimats un pielietotās lauksaimniecības prakses;
- Randall un Mulla (2001) pētījumā secināts, ka nekontrolējamiem faktoriem, kā piemēram, atmosfēras nokrišņiem un augsnes organisko vielu mineralizācijai ir būtiska ietekme uz noteci, augu barības vielu koncentrāciju un zudumiem;
- Sharpley *et al.* (2001) pētījumā par forfora zudumiem, secināts, ka faktori, kas ietekmē P_{kop} zudumus ir augsnes granulometriskais sastāvs, organisko vielu saturs augsnē un augsnes infiltrācijas koeficients, papildus secināts, ka $\text{PO}_4\text{-P}$ zudumus galvenokārt ietekmē erozija, taču jāņem vērā arī virszemes un drenu notecē izšķidušā fosfora formu transports uz virszemes ūdenstilpnēm;
- Dinnes *et al.* (2002) pētījumā secināts, ka $\text{NO}_3\text{-N}$ izskalošanos izraisa dažādu faktoru kombinācija, tostarp augsnes apstrāde, meliorācijas sistēmas sateces baseinā, kultūraugu izvēle, organiskās vielas saturs augsnē, kā arī gaisa temperatūra un atmosfēras nokrišņi;

- Stålnacke *et al.* (2003) pētījumā par ilgtermiņa tendencēm augu barības vielu koncentrācijām Latvijas upēs, secināts, ka paaugstināti augu barības vielu zudumi no lauksaimniecības teritorijām novērojami pie intensīvas mēslošanas līdzekļu lietošanas, īpaši situācijās, kad mēslojuma deva pārsniedz kultūrauga barības vielu vajadzības;
- Sileika *et al.* (2005) pētījumā par faktoriem, kas ietekmē N_{kop} un P_{kop} zudumus no maziem sateces baseiniem Lietuvā, secināja, ka nozīmīgi ir gan klimatiskie faktori, gan agronomiskie faktori, piemēram, augsnes apstrāde, mēslošana, kā arī mājlopu blīvums. Mēslošanas līdzekļu pastiprināšana lietošana sateces baseinā rada lielākus slāpekļa zudumus (15 kg ha^{-1} gadā), savukārt lieli fosfora zudumi novēroti sateces baseinos ar izteiktu paugurainu reljefu un mālainu augsnes tipu (0.318 kg ha^{-1} gadā);
- Udwatta *et al.* (2006) pētījumā par slāpekļa zudumiem no lauksaimniecības teritorijām secinājis, ka slāpekļa zudumus ietekmē ainavas iežimes, atmosfēras nokrišņi, augu seka un slāpekli saturoša minerālā mēslojuma lietošanas laiks;
- Absalon un Matysik (2007) pētījumā par ūdens kvalitātes izmaiņām Polijas upē, secināja, ka liela nozīme ir notece apjomam;
- Buciene *et al.* (2007) un Singh *et al.* (2008) veiktajos pētījumos norādīts, ka vietas ar augstu dzīvnieku blīvumu ir pakļautas virszemes ūdeņu piesārņojumam ar augu barības vielām;
- Cherry *et al.* (2008) pētījumā secināts, ka $\text{NO}_3\text{-N}$ zudumus ietekmē pārmērīgs mēslošanas devu apjoms, augu barības vielu satura neizvērtēšana kūtsmēslos, augu barības vielu izkliedēšana nepareizā laikā, rudens aršana, kā arī P_{kop} zudumus ietekmē erozija;
- Leone *et al.* (2008) pētījuma literatūras apskatā norāda, ka P_{kop} zudumus ietekmē mijiedarbība starp vairākiem faktoriem, piemēram, klimatu, meliorācijas sistēmām sateces baseinā, augsnes granulometrisko sastāvu, buferjoslas, veģetāciju (kultūraugu) un reljefu;
- Kyllmar *et al.* (2014) pētījumā par Zviedrijas lauksaimniecības monitoringa sateces baseiniem, noteikts, ka N_{kop} un P_{kop} zudumi atšķiras atkarībā no klimata, augsnes granulometriskā sastāva, aramzemes īpatsvara, kultūraugu veida un dzīvnieku blīvuma;
- Piniewski *et al.* (2014) pētījumā par iespējamiem nākotnes scenārijiem saistībā ar augu barības vielu zudumiem Polijas Baltijas jūras piekrastei piegulošā ūdensobjektā, secināts, ka galvenie augu barības vielu zudumu ietekmētāji ir klimata pārmaiņas un lauksaimnieciskās darbības intensivitāte (35 gadu laikā $\text{NO}_3\text{-N}$ un $\text{PO}_4\text{-P}$ zudumus palielinās par 20%);
- Rupp *et al.* (2018) ilgtermiņa pētījumā par augsnē esošā augiem pieejamā fosfora savienojumiem, literatūras apskatā norāda, ka P_{kop} zudumi saistīti ar atmosfēras nokrišņu daudzumu, fosforu saturošu mēslošanas līdzekļu izmantošanu un māla saturu augsnē;

- Petersen *et al.* (2021) pētījumā noteikts, ka pastāv saistība starp vidējo N_{kop} un $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrāciju lauksaimniecības notecē un nokrišņiem, klimata īpatnībām, noteces slāni, iepriekšējā gada noteces slāni, ikgadējo dienu skaitu ar negatīvām gaisa temperatūrām, lauksaimniecībā izmantojamo zemju platību sateces baseinā, mājlopu blīvumu, kultūraugu, kūtsmēslu novietu izvēli, kūtsmēslu iestrādes laiku un metodi, augsnes apstrādes laiku.

Saskaņā ar augstākminēto secināms, ka pastāv daudzi dabiskie un antropogēnie faktori, kas var ietekmēt augu barības vielu izskalošanos no lauksaimniecības teritorijām, tādēļ promocijas darba turpmākajās nodaļās izvērtētie faktori izvēlēti balstoties uz diviem kritērijiem:

- raksturoti literatūrā biežāk minētie faktori, kam ir noteikta nozīmīga ietekme uz lauksaimniecības noteces kvalitāti un kvantitāti;
- ietekmējošo faktoru izvēli limitē ģeotelpiskās informācijas un monitoringa datu pieejamība.

1.2.1. Dabisko faktoru ietekme uz lauksaimniecības noteces sastāvu

Tālākai analīzei izvēlēti vairākos pētījumos (Clark, Mueller, and Mast 2000; Iital *et al.* 2010; Petersen *et al.* 2021) norādītie nozīmīgākie dabiskie faktori, kas ietekmē lauksaimniecības noteces kvalitāti:

- meteoroloģiskie faktori:
 - gaisa temperatūra;
 - atmosfēras nokrišņi;
- notece;
- augsnes īpašības (granulometriskais sastāvs);
- reljefs (virsmas slīpums).

Nozīmīgāko dabīgo faktoru ietekmes uz lauksaimniecības notecei kvalitātes un kvantitātes novērtēšanai augstākminētie faktori pētīti detalizētāk.

Gaisa temperatūra ir meteoroloģiskais faktors, kas atkarīgs no Saules radiācijas neviensmērīgās pieplūdes pa mēnešiem un sezonaļām (Klimats Latvijā 2021). Gaisa temperatūras sezonaļas, gada izmaiņas, kā arī maksimālās un minimālās vērtības ietekmē lauksaimniecības procesu norisi, t.sk., paaugstināta vidējā gaisa temperatūra ietekmē kultūraugu augšanas sezonas ilgumu, kā arī augšanas faktorus, vasarā veicina iztvaikošanas procesu un potenciāli samazina noteces apjomu un ziemā veicina sniega kušanu un potenciāli palielina noteces apjomu (Deelstra *et al.* 2011). LVGMC meteoroloģisko datu analīze liecina, ka no 1961. g. līdz 2020. g. ir novērojama vienmērīga gaisa temperatūras paaugstināšanās, kas ir izteikta gan vidējās gaisa temperatūras vērtībās, gan minimālās un maksimālās gaisa temperatūras vērtībās (LVGMC 2021). Stuntebeck *et al.* (2011) pētījums liecina, ka P_{kop} notecē ir augstāka periodos, kad augsne nav sasalusī ($p<0.05$) ($P_{\text{kop}} 1.13 - 4.21 \text{ mg L}^{-1}$) salīdzinājumā ar

periodiem, kad augsne ir sasalusī (P_{kop} 0.60 – 2.68 mg L⁻¹). Veģetācijas sezonas ilgumam (t.i., dienu skaitam gadā, kad diennakts vidējā temperatūra ir vismaz +5°C) ir būtiska ietekme uz NO₃-N izskalošanās apjomu, jo veģetācijas periodā augi NO₃-N izmanto augšanas procesu nodrošināšanai un tādējādi tiek novērsta vai samazināta NO₃-N izskalošanos (Andersen et al. 2014).

Atmosfēras nokrišņi raksturo meteoroloģisko informāciju. Nokrišņi rodas atmosfērai piesātinoties ar ūdens tvaikiem, kas, sasniedzot kondensācijas punktu, gravitācijas ietekmē nokrīt no mākoņiem. Izšķir vairākas nokrišņu formas, kam piemīt sezonāls raksturs: lietus, sniegs, krusa un rasa (LVĢMC 2014). Nokrišņu ietekme uz noteces apjomu ir ievērojama, pat dažu dienu intensīvi nokrišņi var izraisīt vidējās gada noteces apjoma palielināšanos (Andersen et al. 2014; Randall and Mulla 2001; De Vos 2001). Noteces daudzumu siltajā sezonā ietekmē nolijušā lietus apjoms un tā intensitāte, nokrišņu ilgums, gaisa temperatūra, turpretī ziemas sezonā ietekmē sniega kārtas biezums, sniega kušanas ātrums un intensitāte. Noteci ietekmē arī nokrišņu daudzuma sezonālais sadalījums (t.i., kopējais gada nokrišņu daudzums salīdzinājumā ar veģetācijas sezonas laikā izkritušiem nokrišņiem) (Udawatta et al. 2006). Ekstrēmi izkritušo nokrišņu daudzumi veicina izteikti palielinātu noteici un tādējādi izraisa nozīmīgu N_{kop} izskalošanos (Øygarden et al. 2014), vienlaicīgi spēcīgas lietusgāzes un nozīmīgs noteces daudzums izraisa mazākus NO₃-N zudumu kā atkārtotas mērenas lietusgāzes ar nelielu noteces daudzumu (Jakab et al. 2017). Nokrišņu trūkums vasarā (sausuma periods) izraisa palielinātus N_{kop} zudumus nākamajās sezonās, galvenokārt lauksaimniecības zemēs, kurās augsnī apstrādā rudenī (Bechmann and Bøe 2021).

Notece ir ūdens aprites sauszemes posms, kad ūdens pārvietojas pa zemes virsmu, augsnī un iežu slāniem. Izšķir pazemes un virszemes noteici. Virszemes notece veidojas īslaicīgu un intensīvu nokrišņu (lietus veidā) vai sniega kušanas laikā. Virszemes noteces rezultātā var veidoties ūdens augsnes erozija, kuras apstākļos ar augsnes dalīņām un organisko vielu saistītie fosfora savienojumi var nonākt drenu sistēmās un ūdenstecēs (Tunney, Brookes, and Johnston 1997). Drenu notece var būt nozīmīga N_{kop} (89%) un P_{kop} (76%) zudumus sekmējoša noteces komponente (Bechmann and Bøe 2021). Pastāv saistība starp nokrišņu un noteces apjomu, kā arī starp noteces apjomu un N_{kop} zudumiem (Absalon and Matysik 2007; Øygarden et al. 2014; Randall and Mulla 2001). Noteces apjomam ir sezonāls raksturs (Øygarden et al. 2014).

Augsnes īpašības un reljefs. Zemes resursi, kas ietver augsnī, tās īpašības un reljefu, ir nozīmīgi lauksaimnieciskās produkcijas ražošanas nodrošināšanai. Augsnes izmantošanu ietekmē reljefa īpatnības (zemes virsmas slīpums, augstums virs jūras līmeņa), augsnes auglība (t.sk., organisko vielu nodrošinājums, augsnes reakcijas līmenis, bioloģiskā aktivitāte), granulometriskais sastāvs, mitruma režīms un drenāžas sistēmas, gan arī procesi,

kā piemēram, augsnes erozija, augsnes noplicināšana, sasāļošanās un piesārņošana (Bušmanis 1999; Misselbrook et al. 1995). Augsnēs, kurās ir veikta drenāžas izbūve, ūdens infiltrācijas process norisinās straujāk, pētījumā Lietuvā (Povilaitis et al. 2015) secināts, ka augu barības vielu daudzums, kas tiek transportēts ar drenāžas sistēmu novadītajiem ūdeņiem, ir atkarīgs no augsnes struktūras, attiecīgi augu barības vielu zudumi smilšainās augsnēs bieži vien ir divreiz lielāki kā zudumi smilšmāla augsnēs. Nogāzes slīpums un virsmas apstākļi ietekmē $\text{NO}_3\text{-N}$ zudumus, jo ietekmē infiltrācijas ātrumu un infiltrētā ūdens apjomu, Jakob et al. (2017) pētījumā konstatēts, ka stāvākās nogāzēs palielinās virszemes notece un N_{kop} zudumi caur drenāžas sistēmām ir mazāki, jo infiltrācija ir kavēta.

1.2.2. Antropogēno faktoru ietekme uz lauksaimniecības noteces sastāvu

Lai arī dabiskajiem faktoriem ir nozīme uz lauksaimniecības notecei kvalitāti, ūdens resursa raksturojošos rādītajus ietekmē arī cilvēka darbības. Pētījumos (Abid and Lal 2009; European Commission 2019; Grote, Craswell, and Vlek 2005; Merseburger, Martí, and Sabater 2005) izšķir vairākus nozīmīgus antropogēnos faktorus, kas ietekmē lauksaimniecības notecei sastāvu:

- zemes lietojuma veida īpatsvars sateces baseinā;
- kultūrauga īpatsvars sateces baseinā;
- meliorācijas sistēmas (drenēto platību īpatsvars sateces baseinā);
- agronomiskie faktori (izkliedētā slāpekli saturošā minerālā mēslojuma apjoms);
- mājdzīvnieku novietnes (dzīvnieku vienību skaits sateces baseinā).

Nozīmīgāko antropogēno faktoru ietekmes uz lauksaimniecības notecei kvalitāti novērtēšanai augstākminētie faktori pētīti detalizētāk.

Zemes lietojuma veids ir zemes raksturojums, pamatojoties uz tās izmantošanu. Saskaņā ar zemes seguma kartēšanas (*Corine Land Cover CLC*) nomenklatūru, tiek izdalītas 5 grupas: mākslīgās (urbānās) platības, lauksaimniecības platības, meži un dabiskās platības, mitrzemes (purvi), ūdenstilpnes, kas detalizētāk sadalītas 44 klasēs. Latvijas teritorijai CLC kartēšana veikta vairākas reizes, sākot ar 1985. gadu, jaunākā veikta 2018. gadā (CLC 2018). Pētījumā par augu barības vielu un zemes lietošanas veidu saistību, novērota pozitīva un cieša saistība starp sateces baseinā esošajām ūdenstilpnēm un vidējo $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrāciju vērtību, savukārt sateces baseinā palielinoties lauksaimniecības zemju īpatsvaram, palielinās N_{kop} , $\text{NO}_3\text{-N}$, P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ koncentrāciju vērtības. Sateces baseinā samazinoties mežu un dabisko platību īpatsvaram, palielinās N_{kop} , $\text{NO}_3\text{-N}$, P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ zudumi, kā arī mākslīgo segumu platības palielinājums sateces baseinā var veicināt P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ zudumus (Camara, Jamil, and Abdullah 2019; Huang et al. 2013; Siksnane and Lagzdins 2021).

McDowell un Omernik (1977) pētījumā ziņoja, ka vidējā $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrācija bija ievērojami augstāka ($2 - 6 \text{ mg L}^{-1}$) sateces baseinos, kuros ir nozīmīgs lauksaimniecības zemju īpatsvars, salīdzinot ar platībām, kuru sateces baseinā ir nozīmīgs meža zemju īpatsvars ($0.1 - 0.5 \text{ mg L}^{-1}$).

Kultūraugs ir mērķtiecīgi audzēts augs noteiktā lauksaimniecībā izmantojamās zemes platībā. Kultūraugs un augu barības vielu režīms ir kontrolējami faktori, kuri ietekmē $\text{NO}_3\text{-N}$ zudumus lauksaimniecības notecē (Randall and Mulla 2001; Kyllmar *et al.* 2014). Pētījumā secināts, ka kultūraugiem, kurus audzē rindās, $\text{NO}_3\text{-N}$ zudumi ir nozīmīgāki kā daudzgadīgajām kultūrām (Randall and Mulla 2001), kurām saknes ūdeni un augu barības vielas uzņem ilgstošākā laika periodā, to apstiprina pētījums, kurā secināts, ka augsnēs, kuras apstrādā rudenī (attiecīgi, uz tām audzē viengadīgas kultūras) ir jutīgākas pret augsnēs un augu barības vielu zudumiem, salīdzinot ar augsnēm, uz kurām audzē daudzgadīgus kultūraugus (Bechmann and Bøe 2021). Pētījumā Lietuvā, zinātnieces Rudzianskaite un Miseviciene (2005) secināja, ka pētījuma objektos $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrācija notecē no daudzgadīgajiem zālājiem bija $2.4 - 3.6$ reizes zemāka kā notecē no aramzemēm. Vasaras periodā, samazinoties hidroloģiskajai aktivitātei, samazinās $\text{NO}_3\text{-N}$ izskalošanās, šāda $\text{NO}_3\text{-N}$ izskalošanās dinamika novērojama neatkarīgi no tā vai tiek sēti ziemas, vai vasaras kultūraugi, jo riskam pakļautajā laika periodā kultūraugi nespēj uzņemt augsnēs šķīdumā esošo $\text{NO}_3\text{-N}$ (Lagzdiniņ *et al.* 2019; Martinez-Feria *et al.* 2018).

Meliorācijas sistēmas. Latvijas klimatam raksturīgi, ka vidējais nokrišņu daudzums pārsniedz izvaišanu, tādēļ nosusināšanas sistēmu izbūve un uzturēšana ir īpaši svarīga, lai samazinātu nelabvēlīgu laika apstākļu ietekmi uz zemju apstrādi - spētu savlaicīgi apstrādāt lauksaimniecībā izmantojamās zemes (aršana, kultivēšana, sēja, mēslojuma izkliede) (Šķiņķis 1986). Drenas pazemina gruntsūdens līmeni, pagarinot augu barības vielu filtrācijas ceļu augsnē, kā arī nodrošinot ātru ūdens novadi no augsnēs virskārtas, atļaujot tehnikai pārvietoties pa laukiem (Sudārs, Popluga, and Kreišmane 2020). Ūdenī šķīstošie slāpekļa un fosfora savienojumi ($\text{NO}_3\text{-N}$ un $\text{PO}_4\text{-P}$) novērojami notecē, kas veidojas ar drenu ūdeņiem, taču virszemes noteces sastāvā novērojams pastiprināts augsnēs un organiskās vielas daļiju daudzums, kā arī ūdenī nešķīstošo slāpekļa un fosfora savienojumu koncentrācijas (Ahiablame *et al.* 2011; McDowell and Sharpley 2001; Nguyen and Sukias 2002).

Agronomiskie faktori un dzīvnieku vienību skaits sateces baseinā veicina augu barības vielu izskalošanos lauksaimniecības notecē (Gupta *et al.* 2004; Howarth 2008; Quinn 2004; Sileika *et al.* 2005; Tumas 2000). Mēslošanas pamatuzdevums ir nodrošināt optimālu kultūraugu ražu, jo augiem nepieciešamo augu barības vielu trūkums var samazināt ražību, savukārt pārpalkums var veicināt augu barības vielu zudumus lauksaimniecības notecē (Lal and Kimble 1997). Pētījumā Rudzianskaite un Miseviciene (2005) ziņoja, ka pastāv būtiska

mēslošanas apjoma ietekme uz izskalotā NO₃-N koncentrāciju lauksaimniecības notečē: palielināta mēslošanas līdzekļu apjoma izmantošana veicina NO₃-N izskalošanos lauksaimniecības notečē.

Lai ierobežotu NO₃-N nokļūšanu lauksaimniecības notečē, Nitrātu direktīvā reglamentēta NO₃ koncentrācijas maksimāli pielaujamā robežvērtība 50 mg L⁻¹ NO₃ (pārrēķinot 11.3 mg L⁻¹ NO₃-N) (Agriculture and Natural Resources University of California 2012; EU Nitrates Directive 1991).

Promocijas darba ietvaros, detalizēta agrohidroloģisko faktoru analīze tiek veikta pamatojoties uz literatūras analīzē noteiktajiem dabiskajiem un antropogēnajiem faktoriem, kas būtiski ietekmē lauksaimniecības noteces kvalitāti, kā arī ņemot vērā pieejamo ģeotelpisko informāciju un monitoringa datus.

2. MATERIĀLI UN METODES

Nodaļā konspektīvi raksturota pētījumā izmantoto izkliedētā (difūzā) piesārņojuma monitoringa objektu meteoroloģisko un hidroloģisko novērojumu datu izcelesme, pētījuma objekti, lauksaimniecības noteces kvalitatīvā sastāva analīzē pielietotās statistiskās un ģeotelpiskās informācijas analīzes metodes.

2.1. Pētījuma objektu raksturojums

Ūdens kvalitatīvo datu raksturošanai, pētījumā izmantoti izkliedētā (difūzā) piesārņojuma monitoringa objektu dati:

- Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Vides un ūdenssaimniecības katedras īstenotā Lauksaimniecības noteču monitoringa ilgtermiņa dati (Bērzes, Mellupītes, Vienziemītes monitoringa objekti). Lauksaimniecības noteču monitoringa realizāciju nosaka Vides politikas pamatnostādnes 2021. – 2027. g. un uz tās pamata izstrādātā Vides monitoringa programma 2021. – 2026. g., 2. nodaļa “Ūdeņu monitoringa programma” (Vides politikas pamatnostādnes 2021);

- projekta “Latvijas upju baseinu apsaimniekošanas plānu ieviešana laba virszemes ūdens stāvokļa sasniegšanai” (LIFE GoodWater IP, LIFE18 IPE/LV/000014) īstenošanas ietvaros iegūtie dati (G264 Aģes, L118 Auces, V046 Ķēdas un V093 Sločenes sateces baseini).

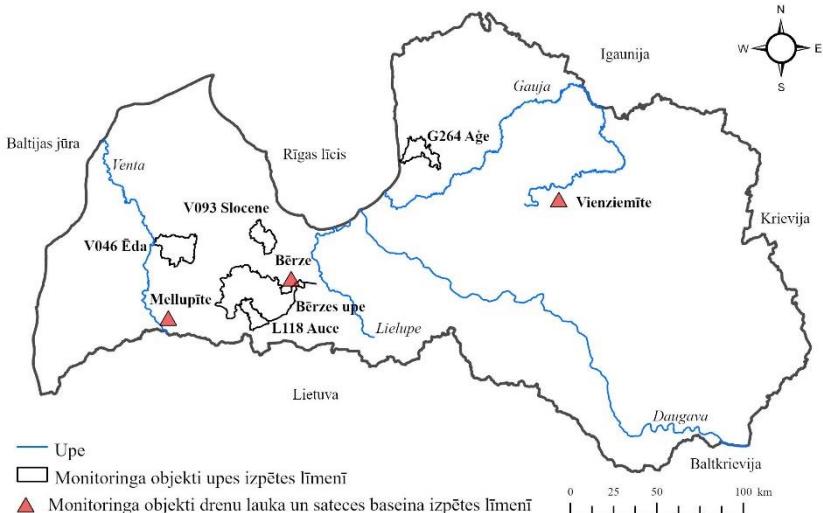
Lai raksturotu meteoroloģiskos apstākļus pētījumā, laika periodā no 1961. g. līdz 2021. g., izmantoti VSIA “Latvijas Vides ģeoloģijas un meteoroloģijas centra” meteoroloģisko novērojumu dati (monitoringa stacijas Dobele, Saldus un Zosēni).

Izkliedētā (difūzā) piesārņojuma monitoringa objektiem, par kuriem dati ievākti Lauksaimniecības noteču monitoringa īstenošanas ietvaros, mazā sateces baseina un drenu lauka līmenī ievākti kopš 1995. gada un Bērzes upes līmenī kopš 2005. gada, savukārt dati, kas iegūti projekta LIFE GoodWater IP ietvaros,

monitoringa objektiem G264 Aģe un V093 Slocene ievākti no 2020. g. maija līdz 2021. g. oktobrim un monitoringa objektiem L118 Auce un V046 Ēda no 2021. g. marta līdz 2021. g. decembrim.

Ūdens paraugi tiek ievākti un analizēti, ievērojot sistemātiskumu un regularitāti, kas nodrošina ilgstošu un nepārtrauktu datu rindu pieejamību. Ūdens paraugu ķīmiskā sastāva analizēšana, lai noteiktu N_{kop} , NO_3-N , NH_4-N , P_{kop} un PO_4-P koncentrācijas ūdens paraugos, norisinās akreditētā laboratorijā.

Izkliedētā (difūzā) piesārņojuma monitoringa objekti izvietoti dažādos Latvijas reģionos un to atrašanās vietas attēlotas 2.1. attēlā.



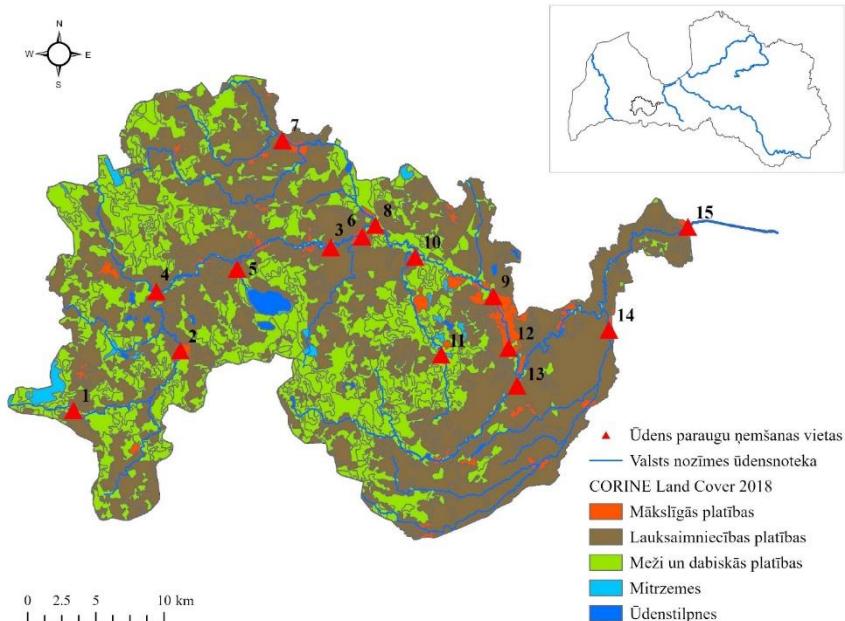
2.1. att. Izkliedētā (difūzā) piesārņojuma monitoringa objektu izvietojums Latvijā

2.1.1. Lauksaimniecības noteču monitoringa objekti

Lauksaimniecības izkliedētā (difūzā) piesārņojuma pētījumi norisinās trīs izpētes līmenos: upes, mazā sateces baseina un drenu lauka izpētes līmenī (Bērzes monitoringa objekta drenu lauka, mazā sateces baseina un upes pētījumu līmenos, Mellupītes un Vienziemītes monitoringa staciju drenu lauka un mazā sateces baseina līmenos, G264 Āģes, L118 Auces, V046 Ēdas un V093 Slocenes upju sateces baseinu izpētes līmenos).

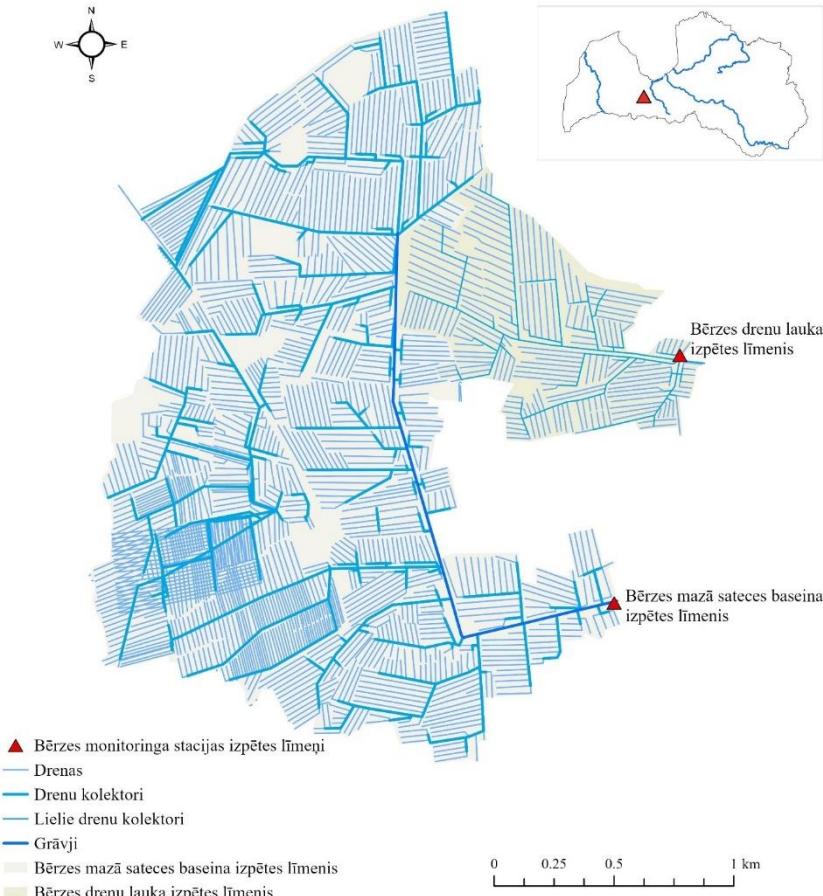
Bērzes upe (hidrometriskais posteņis Bērze - Baloži) ir Svētes upes pieteka, kas ietek Lielupes upes sateces baseina teritorijā, atrodas Latvijas centrālajā daļā, Viduslatvijas zemienes Zemgales līdzenumā. Lauksaimniecības noteču monitoringa ietvaros Bērzes upes sateces baseinā ūdens paraugi tiek ievākti 15 ūdens paraugus, nēmšanas vietās, atbilstoši Bērzes upes sateces baseina

platība sadalīta 15 daļbaseinos. Bērzes upes daļbaseini izdalīti izvērtējot dažādus kritērijus, piemēram, zemes lietošanas veidu, pieteku izvietojumu, pieejamo ceļu infrastruktūru monitoringa veikšanai. Monitoringa objekta upes (daļbaseinu) izpētes līmenis attēlots 2.2. attēlā.



2.2. att. Bērzes upes izpētes līmenis

Bērzes monitoringa objekts (stacija) (drenu lauka un mazā sateces baseina izpētes līmenis) atrodas aptuveni 10 km attālumā no Bērze – Baloži hidrometriskā posteņa. Bērzes drenu lauka izpētes līmeņa sateces baseins ir 0.78 km^2 , savukārt mazā sateces baseina teritorija ir 3.75 km^2 . Monitoringa objekta drenu lauka un mazā sateces baseina izpētes līmenis attēlots 2.3. attēlā.



2.3. att. Monitoringa objekts Bērze

Mellupītes monitoringa objekts (stacija) (drenu lauka un mazā sateces baseina izpētes līmenis) atrodas Latvijas rietumu daļā (Saldus novads), Viduslatvijas zemienes Vadakstes līdzenumā (Latvijas fizikālā ģeogrāfiskā karte 2018). Mellupītes drenu lauka izpētes līmeņa sateces baseins ir 0.14 km^2 , savukārt mazā sateces baseina teritorija ir 9.76 km^2 .

Vienziemītes monitoringa objekts (stacija) (drenu lauka un mazā sateces baseina izpētes līmenis) atrodas Latvijas ziemeļaustrumu daļā (Saldus novads), Vidzemes augstienes Piebalgas paugurainē (Latvijas fizikālā ģeogrāfiskā karte 2018). Vienziemītes drenu lauka izpētes līmeņa sateces baseins ir 0.65 km^2 , savukārt mazā sateces baseina teritorija ir 5.89 km^2 .

G264 Aģe (upes izpētes līmenis) iztek no Aģes ezera, ietilpst Gaujas upes sateces baseinā. Tā atrodas Latvijas ziemeļaustrumu daļā. Monitoringa objekts G264 Aģe sastāv no 14 ūdens paraugu ņemšanas vietām ar sateces baseinu platībām 0.04 – 183.6 km².

L118 Auce (upes izpētes līmenis) ir Svētes upes pieteka, tā iztek no Lielauces ezera, ietilpst Lielupes upes baseinā, atrodas Latvijas centrālajā daļā. Monitoringa objekts L118 Auce sastāv no 15 ūdens paraugu ņemšanas vietām ar sateces baseinu platībām 1.0 – 128.5 km².

V046 Ēda (upes izpētes līmenis) ir Ventas labā krasta pieteka, ietilpst Ventas upes baseinā, atrodas Latvijas rietumu daļā. Monitoringa objekts V046 Ēda sastāv no 13 ūdens paraugu ņemšanas vietām ar sateces baseinu platībām 9.1 – 300.9 km².

V093 Slocene (upes izpētes līmenis) ietilpst Ventas upes baseinā, atrodas Latvijas rietumu daļā. Monitoringa objekts V093 Slocene sastāv no 15 ūdens paraugu ņemšanas vietām ar sateces baseinu platībām 0.2 – 149.9 km².

2.2. Pētījumā pielietoto datu apstrādes metožu izvēle un raksturojums

Gaisa temperatūras, atmosfēras nokrišņu un noteceš apjomā analīzei tiek pielietota: datu apkopošana un sistematizēšana, aprakstošās statistikas analīze, parametru savstarpējās saistības noteikšana. Augu bariņbas vielu (N_{kop} , NO_3-N , NH_4-N , P_{kop} un PO_4-P) koncentrāciju un zudumu analīzei tiek pielietota: datu apkopošana un sistematizēšana, aprakstošās statistikas analīze, korelācijas un regresijas analīze, robežvērtību novērtējums, ģeotelpiskās informācijas datu analīze, Manna-Kendala tests izmaiņu tendenču novērtēšanai, kā arī daudzfaktoru regresijas analīze.

Korelācijas un lineārās regresijas analīze veikta izmantojot *MS Excel* funkcijas. Korelācijas analīze, kurā izmantots Pīrsona korelācijas koeficients, veikta izmanto saistības noteikšanai starp divām datu kopām (Microsoft 2021), pētījumā pieņemts, ka ciešu saistību raksturo korelācijas koeficienta vērtība virs 0.7, vidēji ciešu $0.5 < r > 0.7$ un vāju vērtība zem 0.5.

Lineārās regresijas analīze, kas aprakstīta ar lineārās regresijas vienādojumu, un determinācijas koeficientu (R^2), izmantota saistību funkcijas noteikšanai starp divām datu rindām.

Datu atbilstība normālajam sadalījumam izvērtēta lietojot programmas *IBM SPSS Statistics 22* funkciju: Kolmogorova – Smirnova testu (*Kolmogorov-Smirnov*) un secināts, ka Bērzes, Mellupītes un Vienziemītes drenu lauka un mazā sateces baseina izpētes līmeņos noteceš (mm), N_{kop} , NO_3-N , NH_4-N , P_{kop} , PO_4-P koncentrāciju ($mg\ L^{-1}$) un zudumu ($kg\ ha^{-1}$) vērtības neatbilst normālajam sadalījumam, tādēļ virszemes ūdeņu kvalitātes izmaiņu tendenču prognozēšanai lietots neparametriskais Manna-Kendala tests.

Virszemes ūdeņu kvalitātes izmaiņu tendenču novērtēšanai izmantots modificēts Manna-Kendala (MK) tests (Libiseller and Grimvall 2002).

MK tests ir neparametriskais tests, ar kuru pārbauda, vai datiem ir raksturīga augoša vai dilstoša tendence, vai arī tie ir nejauši izvietoti laikā (Curiac and Micea 2023). MK testa vērtības tiek aprēķinātas izmantojot C.Libiseller un A.Grimvall (2002) *MS Excel* izveidoto un pielāgoto makro programmu *MULTMK/PARTMK*, kurā iekļauta ne tikai sezonālo izmaiņu ietekme, bet arī antropogēno un dabisko faktoru radīto izmaiņu ietekme.

Daudzfaktoru regresijas analīze tiek izmantota dažādu hidroloģisko un meteoroloģisko datu izpētē (Dimitriadou and Nikolakopoulos 2022; Holder 1985; Patel et al. 2016). Analīze veikta, lai pētījuma periodā parādītu agrohidroloģisko faktoru summāro ietekmi uz rezultatīvās pazīmes (augu bariņas vielu koncentrāciju) izmaiņām. Daudzfaktoru regresijas analīze veikta, izmantojot *IBM SPSS Statistics 22* programmas funkciju daudzfaktoru regresijas analīzes veikšanai (*Linear regression*). Daudzfaktoru regresijas analīzē iekļautās rezultatīvās pazīmes ir N_{kop} , $NO_3\text{-N}$, $NH_4\text{-N}$, P_{kop} un $PO_4\text{-P}$ koncentrācijas. Regresijas analīzē iekļautās faktoriālās pazīmes izvēlētas pamatojoties uz literatūras analīzē noteiktajiem dabiskajiem un antropogēnajiem faktoriem, kas būtiski ietekmē lauksaimniecības noteces kvalitāti, izvērtējot datu pieejamību, kā arī ņemot vērā, ka faktori nedrīkst būt savstarpēji saistīti. Faktoriālās pazīmes ir vidējā gaisa temperatūra, gada vidējo nokrišņu summa, drenēto platību īpatsvars, vidējais zemes virsmas slīpums, zemes lietojuma veida īpatsvars, augsnes granulometriskā sastāva tipu īpatsvars un vidējais dzīvnieku vienību skaits daļbaseinā. Regresijas analīze veikta Bērzes upes izpētes līmenim – 15 daļbaseiniem. Lai iegūtu statistiski ticamu rezultātu, pakāpeniski izslēgtas faktoriālās pazīmes ar mazāko statisko ticamību, līdz visām regresijas analīzē izmantotajām faktoriālajām pazīmēm būtiskuma līmenis iekļaujas 95% intervālā un tās uzskatāmas par statistiski ticamām (Kafle 2019). Rezultāti izteikti regresijas vienādojuma veidā:

$$y_{(n,p)} = \beta_0 + (\beta_1 \times x_1)(\beta_2 \times x_2) \dots (\beta_n \times x_n) \quad (2.1)$$

kur

y	– rezultatīvā pazīme, mg L ⁻¹ ;
n	– faktoriālo pazīmju skaits vienādojumā, gab.;
p	– ticamības pakāpe, bez mērvienības;
β_0	– rezultatīvās pazīmes koeficients (brīvais loceklis), bez mērvienības;
$\beta_1, \beta_2, \beta_n$	– faktoriālo pazīmju koeficienti, bez mērvienības;
x_1, x_2, x_n	– faktoriālās pazīmes, mērvienība atkarīga no pazīmes.

Ūdens kvalitātes novērtēšana tiek veikta atbilstoši monitoringa objektu sateces baseinu piederībai upes tipiem. Atbilstoši Lielupes, Ventas un Gaujas upju baseinu apgabala apsaimniekošanas plānu 2016.–2021. g. pielikumiem, Bērzes upes ūdensobjekti pieder 3. un 4. upju tipam, savukārt monitoringa objektu G264 Āge, L118 Auce, V046 Ēda un V093 Slocene sateces baseini

pieder 3. upju tipam (Upju baseinu apgabalu apsaimniekošanas plāni 2021). Lai drenu lauka un mazā sateces baseina izpētes līmeņos salīdzinātu noteces kvalitāti, pētījuma ietveros tiek pieņemts, ka Bērzes, Mellupītes un Vienziemītes monitoringa objektu sateces baseini atbilst 2. upju tipam. Kvalitātes rādītāju klases apzīmē ar krāsām: augsta kvalitāte zilā krāsā, laba kvalitāte zaļā krāsā, vidēja kvalitāte dzeltenā krāsā, slikta kvalitāte oranžā krāsā un ļoti slikta kvalitāte sarkanā krāsā. 2.1. tabulā attēlota 2. un 3. tipa fizikāli – ķīmisko kvalitātes klašu robežvērtības.

2.1. tabula. Fizikāli – ķīmisko rādītāju kvalitātes klašu robežvērtības upju tipiem

Rādītājs	Tips	Augsta	Laba	Vidēja	Slikta	Ļoti slikta
N _{kop} , mg L ⁻¹	2	<1.5	1.5 - 2.5	2.5 – 3.5	3.5 – 4.5	>4.5
NH ₄₊ -N, mg L ⁻¹		<0.1	0.1 - 0.16	0.16 – 0.24	0.24 – 0.32	>0.32
P _{kop} , mg L ⁻¹		<0.045	0.045 – 0.090	0.090 – 0.135	0.135 – 0.180	>0.180
N _{kop} , mg L ⁻¹	3	<1.8	1.8 - 2.3	2.3 – 2.8	2.8 – 3.3	>3.3
NH ₄₊ -N, mg L ⁻¹		<0.09	0.09 - 0.12	0.12 – 0.15	0.15 – 0.18	>0.18
P _{kop} , mg L ⁻¹		<0.05	0.05 – 0.075	0.075 – 0.100	0.100 – 0.125	>0.125

Vidējo NO₃-N koncentrācijas maksimāli pieļaujamā robežvērtība atvasināta no Nitrātu direktīvā noteiktās NO₃ koncentrācijas (11.3 mg L⁻¹ NO₃-N) (Agriculture and Natural Resources University of California 2012; EU Nitrates Directive 1991). Ūdens kvalitātes novērtēšanai Latvijā nav reglamentētas PO₄-P koncentrāciju robežvērtības.

Ģeotelpiskās informācijas datu analīze veikta augstnes granulometriskā sastāva, zemes lietojuma veida sadalījuma, kultūraugu īpatsvara, dzīvnieku vienību skaita, meliorācijas sistēmu ietekmes novērtēšanai. Datu apstrāde veikta izmantojot programmu *ArcGIS Pro 2.6.0*. Ģeotelpiskie dati pieejami Latvijas teritorijai, tādēļ datu apjoma samazināšanai, izgriezti (*Clip* funkcija) Bērzes upes sateces baseina teritorijai. Lai novērtētu īpatsvaru, ko daļbaseinā aizņem katrs augstākminētais faktora veids, programmā *ArcGIS Pro 2.6.0* tiek pārrēķinātas platības un iegūta faktisko platību rinda. Iegūtie dati tiek apstrādāti programmā *MS Excel*, datu attēlošanai veidotas izkliedes diagrammas.

Zemes virsmas slīpuma ietekmes izvērtēšanai izmantoti Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Vides un ūdenssaimniecības katedras dati

par vidējo zemes virsmas slīpumu (%) Bērzes upes daļbaseinu teritorijās, kas atvasināti no digitālā reljefa modeļa (LGIA 2023) un apkopoti *MS Excel* programmā.

Izkliedētā slāpekļi saturoša minerālā mēslojuma ietekmes izvērtēšanai izvēlēts Mellupītes monitoringa stacijas drenu lauka izpētes līmenis. Izvērtēti dati par pētījuma periodā (1995. – 2021. g.) izkliedēto slāpekļa mēslojuma devu tūriņielā, N_{kop} zudumiem un zudumu īpatsvaru.

3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Nodaļā aprakstīti pētījuma rezultāti, kas raksturo esošo situāciju izkliedētā (difuzā) piesārpojuma monitoringa objektos, analizēti dati par dabiskajiem un antropogēnajiem faktoriem, kas nozīmīgi ietekmē lauksaimniecības notecei kvalitāti, kā arī dati par ūdens ķīmisko sastāvu (N_{kop} , $NO_3\text{-N}$, $NH_4\text{-N}$, P_{kop} un $PO_4\text{-P}$ koncentrācijas un zudumi), nēmot vērā pieejamos ģeotelpiskās informācijas un monitoringa datus. Nodaļā veikts fizikāli-ķīmisko rādītāju kvalitātes klašu robežvērtību novērtējums, aprakstošās statistikas analīze, parametru saistības noteikšana, izmantots Manna-Kendala tests izmaiņu tendenču novērtēšanai, veikta ģeotelpiskās informācijas datu analīze, kā arī veikta daudzfaktoru regresijas analīze.

3.1. Monitoringa objektu ūdens ķīmiskā sastāva raksturojums

Bērzes, Mellupītes un Vienziemītes drenu lauka un sateces baseina izpētes līmeņos ūdens kvalitāte tiek vērtēta izmantojot ilgtermiņa datus par N_{kop} , $NO_3\text{-N}$, $NH_4\text{-N}$, P_{kop} un $PO_4\text{-P}$ gada vidējām koncentrāciju vērtībām pētījuma periodā (1995. – 2021. g.) un pieņemot, ka sateces baseini atbilst 2. tipam. Nozīmīgākie rezultāti apkopoti 3.1., 3.2. tabulās.

3.1. tabula. Gada vidējo N_{kop} koncentrāciju procentuāls kvalitātes klašu sadalījums Bērzes, Mellupītes un Vienziemītes monitoringa staciju drenu lauka un sateces baseina izpētes līmenī, 1995. – 2021. g.

Izpētes līmenis	Monitoringa stacija	Kvalitātes klase				
		Augsta, %	Laba, %	Vidēja, %	Slikta, %	Ļoti slikta, %
Drenu lauka izpētes līmenis	Bērze	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	Mellupīte	0.0	0	0.0	3.7	96.3
	Vienziemīte	59.3	40.7	0.0	0.0	0.0
Sateces baseina izpētes līmenis	Bērze	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	Mellupīte	0.0	14.8	18.5	37	29.7
	Vienziemīte	29.6	66.7	3.7	0.0	0.0

Salīdzinot Mellupītes un Vienziemītes monitoringa objektu sateces baseina un drenu lauka izpētes līmeņus, N_{kop} koncentrācijas sateces baseina

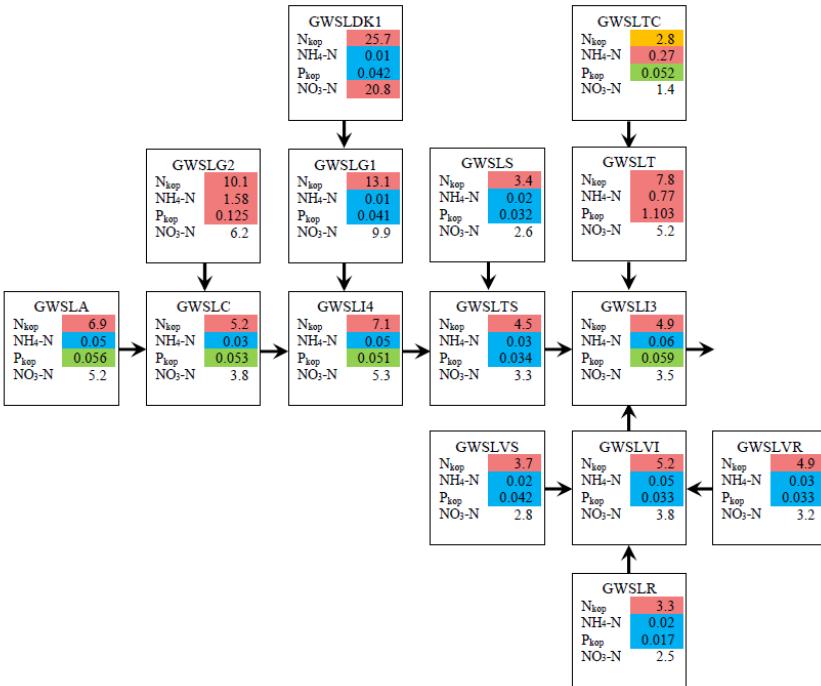
izpētes līmenī ir zemākas, attiecīgi ūdens kvalitātes klase ir augstāka, tas izskaidrojams ar dažādu noteces apjomu sadalījumu monitoringa objektu izpētes līmeņos. Saīdzinot trīs monitoringa stacijas divos izpētes līmeņos, secināms, ka Vienziemītes drenu lauka izpētes līmenī ūdens kvalitāte ir visaugstākā, kas skaidrojams ar ekstensīvas lauksaimniecības ražošanas apstākļiem sateces baseinā, kur lauksaimniecības zemēs tiek audzēts ilggadīgais zālājs.

3.2. tabula. Gada vidējo P_{kop} koncentrāciju procentuāls kvalitātes klašu sadalījums Bērzes, Mellupītes un Vienziemītes monitoringa staciju drenu lauka un sateces baseina izpētes līmenī, 1995. – 2021. g.

Izpētes līmenis	Monitoringa stacija	Kvalitātes klase				
		Augsta, %	Laba, %	Vidēja, %	Slikta, %	Ļoti slikta, %
Drenu lauka izpētes līmenis	Bērze	18.5	70.4	11.1	0.0	0.0
	Mellupīte	40.7	44.5	7.4	3.7	3.7
	Vienziemīte	81.5	18.5	0.0	0.0	0.0
Sateces baseina izpētes līmenis	Bērze	3.7	14.8	33.3	33.4	14.8
	Mellupīte	29.6	48.2	14.8	3.7	3.7
	Vienziemīte	74.1	14.8	7.4	3.7	0.0

Kopumā P_{kop} koncentrācijas no nosusinātām lauksaimniecības zemēm uzskatāmas par zemām, par ko liecina augstai un labai ūdens kvalitātei raksturīgo vērtību augstais procentuālais īpatsvars, izņemot Bērzes mazā sateces baseins izpētes līmeni. Pētījumi liecina, ka specīga lietus un sniega kušanas laikā māla daļīnas var izskaloties no māla augsnēm kopā ar saistīto fosforu un veicināt P_{kop} zudumus (Eriksson et al. 2013; Øygarden, Kværner, and Jenssen 1997; Ulén, Stenberg, and Wesström 2016), attiecīgi vidējās P_{kop} Bērzes mazā sateces baseina izpētes līmenī skaidrojamas ar mālainu augšņu lielo īpatsvaru sateces baseinā.

Ūdens kvalitātes raksturošanai upes līmenī kā piemērs izvēlēts monitoringa objekts V093 Slocene. Rezultāti atspoguļoti blokshēmas veidā, kas shematiski attēlo upes plūšanas virzienu un 15 ūdens parauguņemšanas vietas, kā arī vidējās N_{kop} , NH_4-N , P_{kop} un NO_3-N koncentrācijas (3.1. attēls). Blokshēmās apzīmējumi ar krāsām izvēlēti atbilstoši fizikāli – ķīmisko rādītāju kvalitātes klasēm, V093 Slocene sateces baseini pieder 3. upju tipam.



3.1. att. Monitoringa objekta V093 Slocene N_{kop} , $NH_4\text{-N}$, P_{kop} un $NO_3\text{-N}$ vidējās koncentrāciju vērtības periodā no 2020. g. maija līdz 2021. g. oktobrim, mg L⁻¹

Visos monitoringa V093 Slocene daļbaseinos pētījuma periodā N_{kop} koncentrācijas atbilst sliktai vai ļoti sliktai kvalitātes klasei. Vidējās P_{kop} koncentrācijas 13 daļbaseiniem atbilst augstai vai labi kvalitātes klasei, ar izņēmumiem divos daļbaseinos, GWSLG2, GWSLT, kuros kopumā ūdens kvalitāte atbilst sliktai ūdens kvalitātes klasei (izņemot $NO_3\text{-N}$ koncentrāciju vērtības). Vidējā $NO_3\text{-N}$ koncentrācijas robežvērtība par 9.5 mg L⁻¹ ir pārsniegta baseinā GWSLDK1, kur ūdens paraugs tiek ievākts no drenu kolektora, kas ir saskaņā ar literatūrā apskatīto meliorācijas sistēmu ietekmi uz augu barības vielu izskalošanos (Randall and Mulla 2001).

Lauksaimnieciskās darbības ietekme izteikti novērojama ūdens paraugu nemišanas vietās GWSLG2, GWSLG1 un GWSLDK1, kurās novērotas augstākās vidējās N_{kop} koncentrācijas un kuru sateces baseinos konstatēts augsts lauksaimniecības zemju īpatsvars.

Augšpus (GWSLTC) un lejpus (GWSLT) Tumes ciema ievākto ūdeņu paraugu analīžu rezultāti liecina par negatīvu ciema ietekmi uz Tumes strauta ūdeņu kvalitāti, jo pēc ciema izteikti palielinās N_{kop} , NH₄-N un P_{kop} vidējās koncentrācijas ūdenī, kas var liecināt par sadzīves vai ražošanas notekūdeņu nepilnīgu attīrišanu Tumes ciemā vai Tumes ciema decentralizēto kanalizācijas sistēmu notekūdeņu nonākšanu Tumes strautā.

Lai izvērtētu **ilgtermiņa tendences** notecees (mm) vērtībām, kā arī N_{kop} , NO₃-N, P_{kop} un PO₄-P koncentrācijām (mg L⁻¹) un zudumiem (kg ha⁻¹), Bērzes, Mellupītes un Vienziemītes monitoringa staciju drenu lauka un sateces baseina izpētes līmeniem veikts Manna-Kendala (MK) tests, aprēķinātās MK testa vērtības (MK-stat) apkopotas 3.3. un 3.4. tabulās.

3.3. tabula. MK testa vērtības notecees (mm), N_{kop} un NO₃-N koncentrācijām (mg L⁻¹) un zudumiem (kg ha⁻¹) Bērzes, Mellupītes un Vienziemītes monitoringa stacijas drenu lauka un sateces baseina izpētes līmenī, 1995. – 2021. g.

Izpētes līmenis	Monitoringa stacija	Rādītājs				
		MK-stat, notece, mm	MK-stat, N_{kop} , mg L ⁻¹	MK-stat, NO ₃ -N, mg L ⁻¹	MK-stat, N_{kop} , kg ha ⁻¹	MK-stat, NO ₃ -N, kg ha ⁻¹
Drenu lauka izpētes līmenis	Bērze	(+) 0.055	(-) 1.372	(-) 1.210	(-) 0.512	(-) 0.506
	Mellupīte	(-) 0.046	(+) 1.904	(+) 2.199*	(+) 0.473	(+) 0.682
	Vienziemīte	(+) 1.854	(-) 4.338*	(-) 4.058*	(+) 0.545	(-) 0.341
Sateces baseina izpētes līmenis	Bērze	(-) 0.779	(+) 0.546	(+) 0.984	(-) 0.807	(-) 0.226
	Mellupīte	(-) 1.215	(+) 2.614*	(+) 2.933*	(+) 0.901	(+) 1.818
	Vienziemīte	(+) 0.604	(-) 2.171*	(-) 0.845	(-) 0.004	(+) 0.088

* - statistiski ticams, $p < 0.05$.

Notecees tendencēs vērojamas reģionālas atšķirības. Izvērtējot N_{kop} un NO₃-N zudumus Bērzes monitoringa stacijā, drenu lauka un sateces baseina izpētes līmenī ir novērojama tendence samazināties, pretēji Mellupītes monitoringa stacijas drenu lauka un sateces baseina izpētes līmenī ir tendence palielināties, tikmēr Vienziemītes monitoringa stacijas drenu lauka un sateces baseina līmenī ir novērojamas dažādas tendences (drenu lauka izpētes līmenī N_{kop} koncentrācijām ir tendence palielināties un NO₃-N samazināties un sateces baseina izpētes līmenī pretēji NO₃-N koncentrācijām ir tendence palielināties un

N_{kop} samazināties), kas liecina par dažādu faktoru ietekmi uz N_{kop} un NO_3-N zudumiem.

3.4. tabula. MK testa vērtības P_{kop} un PO_4-P koncentrācijām ($mg\ L^{-1}$) un zudumiem ($kg\ ha^{-1}$) Bērzes, Mellupītes un Vienziemītes monitoringa stacijas drenu lauka un sateces baseina izpētes līmenī, 1995. – 2021. g.

Izpētes līmenis	Monitoringa stacija	Rādītājs			
		MK-stat, P_{kop} , $mg\ L^{-1}$	MK-stat, PO_4-P , $mg\ L^{-1}$	MK-stat, P_{kop} , $kg\ ha^{-1}$	MK-stat, PO_4-P , $kg\ ha^{-1}$
Drenu lauka izpētes līmenis	Bērze	(-) 1.893	(-) 0.686	(-) 0.606	(-) 0.327
	Mellupīte	(-) 2.329*	(-) 0.774	(-) 1.338	(-) 0.383
	Vienziemīte	(-) 2.243*	(-) 1.714	(+) 0.865	(+) 1.168
Sateces baseina izpētes līmenis	Bērze	(-) 3.887*	(-) 2.902*	(-) 2.550*	(-) 1.182
	Mellupīte	(-) 1.112	(+) 0.473	(-) 2.661*	(-) 0.499
	Vienziemīte	(-) 2.665*	(-) 2.735*	(-) 1.017	(-) 0.992

* - statistiski ticams, $p < 0.05$.

Visos monitoringa objektos vērojama tendence P_{kop} koncentrācijām samazināties, turklāt 4 no 6 objektiem vērtības ir statistiski ticamas. Līdzīgas tendences novērojamas PO_4-P koncentrācijās ar izņēmumu Mellupītes sateces baseina izpētes līmenī, kur vērojama tendence PO_4-P koncentrācijām palielināties.

Zemais statistiski ticamo MK testa rezultātu skaits saistīts ar noteceš sezonālo un gada izmaiņu sadalījumu monitoringa objektos. Lai arī MK testa rezultāti liecina, ka tendences ir atšķirīgas un ir novērojami gadījumi, kad N_{kop} , NO_3-N , P_{kop} un PO_4-P koncentrācijas un zudumi notečē ir ar tendenci samazināties, taču 3.3. un 3.4. tabulās apkopotie rezultāti aptver visu pētījuma periodu (1995. – 2021. g.), iespējams turpmāko pētījumu gaitā ir nepieciešams MK testu veikt dažādiem pētījuma periodiem, kuros norisinājušās izmaiņas normatīvajos aktos vai arī tajos ieviestas starptautisko normatīvu prasības, lai tendences raksturotu detalizētāk.

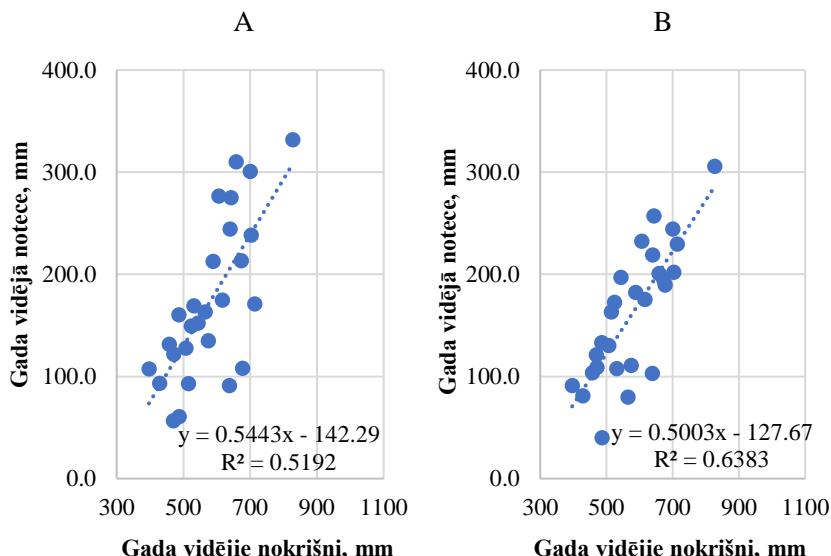
3.2. Dabisko faktoru ietekme uz slāpekļa un fosfora savienojumu izskalošanos

3.2. apakšnodalā veikta dabisko faktoru ietekmes uz augu barības vielu koncentrācijām izvērtēšana lauksaimniecības noteceš pētījuma teritorijās.

Gaisa temperatūras un atmosfēras nokrišņu mainība pētījuma periodā monitoringa objektos Bērze, Mellupīte un Vienziemīte apstiprina LVĢMC

secinājumus par vidējā gaisa temperatūra paaugstināšanos un vidējā nokrišņu daudzuma samazināšanos Latvijas teritorijā, kas liecina par klimata mainību (LVGMC 2021).

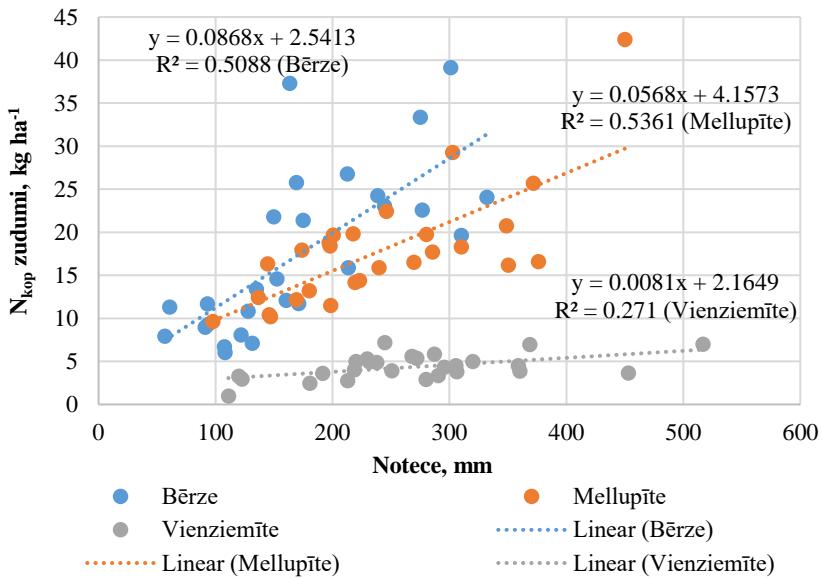
Gada vidējās notecees saistība ar nokrišņiem Bērzes drenu lauka un sateces baseina izpētes līmeniem attēlota 3.2. attēlā. Savstarpējā saistība starp gada vidējo nokrišņu summu (mm) un gada vidējo noteici (mm), laika periodam no 1995. līdz 2021. g. izvērtēta izmantojot izkliedes diagrammas, savstarpējās izskaidrojamības pakāpes raksturošanai izmantota izkliedes diagramma un lineārās regresijas vienādojums.



3.2. att. **Gada vidējās notecees (mm) un gada vidējo P (mm) saistība Bērzes monitoringa stacijas drenu lauka (A) un sateces baseina (B) izpētes līmenī, 1995. – 2021. g.**

Izvērtējot savstarpējo ietekmi starp noteci un nokrišņiem Bērzes, Mellupītes un Vienziemītes monitoringa objektu drenu lauka un sateces baseina izpētes līmenī, palielināts nokrišņu daudzums veicina palielinātu notecees daudzumu gan drenu lauka, gan sateces baseina izpētes līmenī, kas ir saskaņā ar literatūras analīzē noteikto (Øygarden et al. 2014; Randall and Mulla 2001), nozīmīga ir arī atmosfēras nokrišņu izkrišanas sezonalitāte.

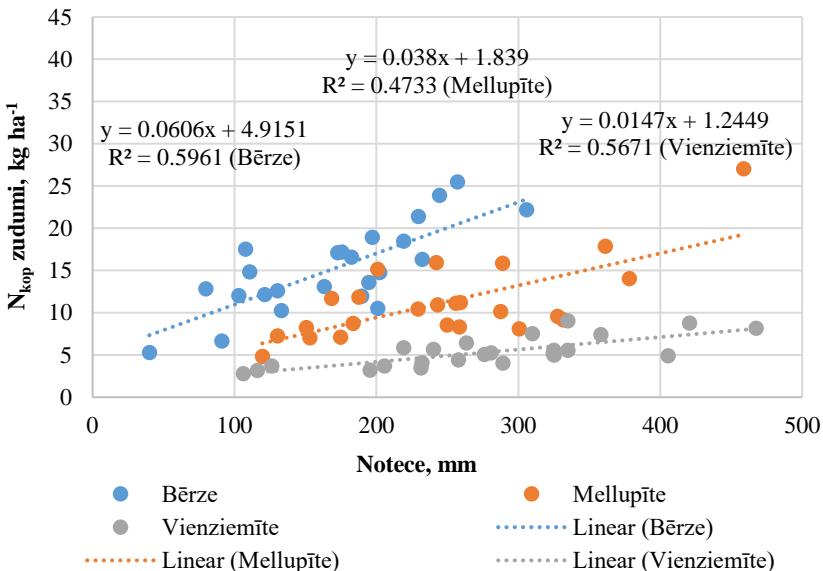
Saistība starp N_{kop} zudumiem un note ci attēlota Bērzes drenu lauka (3.3. attēls) un sateces baseina izpētes līmenī (3.4. attēls).



3.3. att. N_{kop} zudumu (kg ha^{-1}) un notecees (mm) saistība Bērzes, Mellupītes un Vienziemītes monitoringa stacijas drenu lauka izpētes līmenī, 1995. – 2021. g.

Augu barības vielu zudumu vērtības tiek aprēķinātas summējot diennakts vidējo caurplūdumu reizinājumu ar augu barības vielas vidējo diennakts koncentrāciju ūdens paraugā. Drenu lauka izpētes līmenī (3.3. attēls) notecees apjoms izskaidro N_{kop} zudumus ar R^2 vērtībām 0.51 Bērzes, 0.54 Mellupītes, 0.27 Vienziemītes monitoringa stacijā ($p < 0.001$), kas liecina, ka augu barības vielu zudumus ietekmē arī citi faktori.

Drenu lauka izpētes līmenī notecees apjoms izskaidro P_{kop} zudumus ar R^2 vērtībām 0.59 Bērzes, 0.24 Mellupītes, 0.10 Vienziemītes monitoringa stacijā ($p < 0.001$). Salīdzinot ar N_{kop} zudumu izkliedi, P_{kop} zudumiem drenu lauka izpētes līmenī ir mazāks vērtību diapazons.



3.4. att. N_{kop} zudumu (kg ha^{-1}) un notecei (mm) saistība Bērzes, Mellupītes un Vienziemītes monitoringa stacijas sateces baseina izpētes līmenī, 1995. – 2021. g.

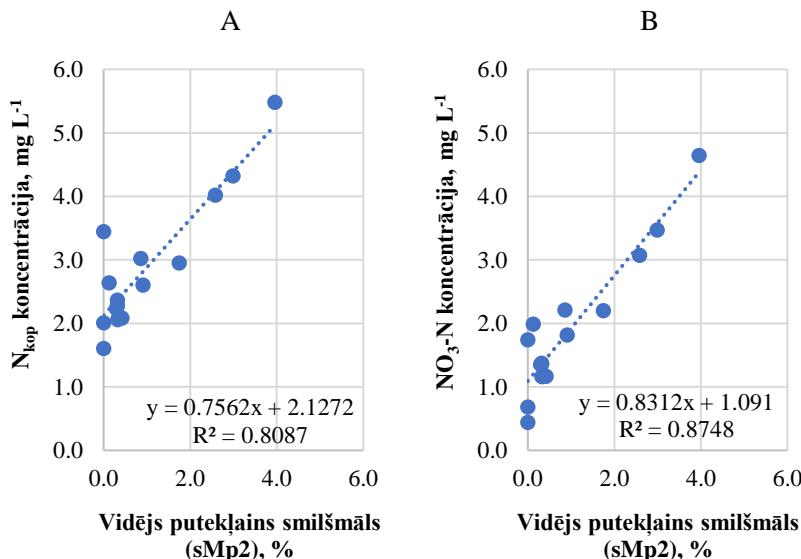
Sateces baseina izpētes līmenī (3.4. attēls) notecei apjoms izskaidro N_{kop} zudumus ar R^2 vērtībām 0.60 Bērzes, 0.47 Mellupītes, 0.57 Vienziemītes monitoringa stacijā ($p < 0.001$). Mazā sateces baseina izpētes līmeni salīdzinot ar drenu lauka izpētes līmeni, sateces baseina izpētes līmenī vērtību izkliedes ir mazākas, kas skaidrojams ar to, ka drenu lauka izpētes līmenī N_{kop} zudumu daudzuma izmaiņas izteikti reaģē uz notecei palielināšanos (Povilaitis et al. 2015).

Sateces baseina izpētes līmenī notecei apjoms izskaidro P_{kop} zudumus ar R^2 vērtībām 0.53 Bērzes, 0.20 Mellupītes, 0.02 Vienziemītes monitoringa stacijā ($p < 0.001$). Kopumā drenu lauka izpētes līmenī P_{kop} zudumu vērtības ir ar mazāku izkliedi kā sateces baseina izpētes līmenī, kas skaidrojams ar virszemes notecei ietekmi mazo sateces baseinu izpētes līmenī, kas drenu lauka izpētes līmenī nav izteikta.

Zemes virsmas slīpuma ietekme izvērtēta nosakot vidējo zemes virsmas slīpuma Bērzes upes izpētes līmenī (Bērzes upes daļbaseiniem) ietekmi uz augu barības vielu koncentrācijām. Vidējās N_{kop} , $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ koncentrāciju vērtības Bērzes upes daļbaseinos un lauksaimniecības zemju īpatsvars izskaidro ar R^2 0.17, 0.16, 0.14, 0.24, 0.19 ($p < 0.001$). Lai arī determinācijas koeficienti ir zemi, novērotā tendence apstiprina literatūrā

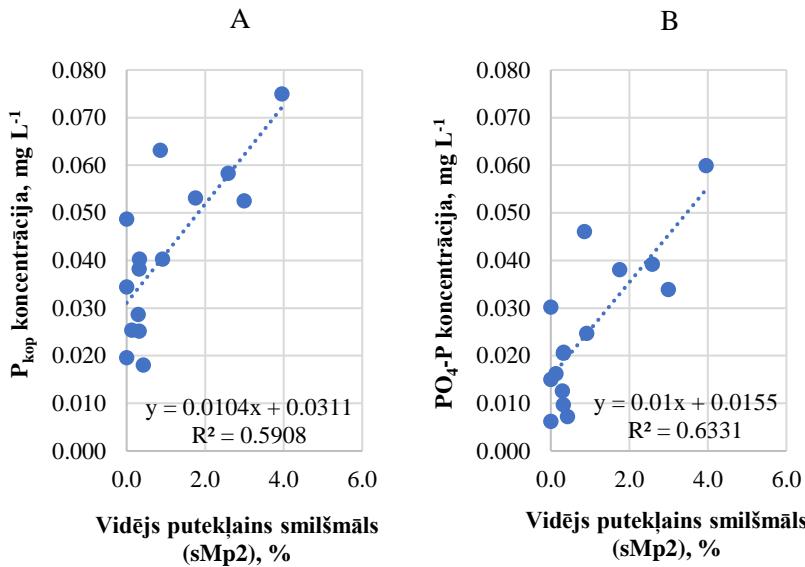
apskatīto, ka stāvākās nogāzēs N_{kop} , $NO_3\text{-N}$ koncentrācijas ir zemākas, jo ūdens infiltrācija ir kavēta un veidojas virszemes notece (Jakab et al. 2017), savukārt rezultāti par P_{kop} un $PO_4\text{-P}$ koncentrāciju saistību ar zemes virsmas slīpumu ir pretrunā ar literatūrā apskatīto, ka virszemes noteces rezultātā var veidoties ūdens augsnēs erozija un rezultēties ar izskalošanos (Lagzdīņš et al. 2019; Quinton, Catt, and Hess 2001). Izvērtējot zemes virsmas slīpuma ietekmi uz augu bariķas vielu koncentrācijām, secināms, ka upes sateces baseina izpētes līmenī (Bērzes upes daļbaseini) rezultāti nesniedz pilnvērtīgu priekšstatu par zemes virsmas slīpuma ietekmi uz lauksaimniecības noteces kvalitāti, tādēļ nepieciešams padziļināti pētīt datus citos izpētes līmeņos.

Augsnes īpašību ietekme izvērtēta nosakot augsnēs granulometriskā sastāva tipu īpatsvaru Bērzes upes daļbaseinos (Bērzes upes izpētes līmenī) un to savstarpēju ietekmi ar N_{kop} , $NO_3\text{-N}$, $NH_4\text{-N}$, P_{kop} un $PO_4\text{-P}$ koncentrāciju vērtībām. Nozīmīgākie rezultāti apkopoti 3.5., 3.6. attēlos.



3.5. att. N_{kop} (A) un $NO_3\text{-N}$ (B) (mg L^{-1}) saistība ar vidēja putekļaina smilšmāla (sMp2) īpatsvaru (%) Bērzes upes izpētes līmenī, 2005. – 2021. g.

Gada vidējo N_{kop} un $NO_3\text{-N}$ koncentrāciju vērtības Bērzes upes daļbaseinos vidēja putekļaina smilšmāla (sMp2) īpatsvars izskaidro ar R^2 0.81 un 0.87 ($p<0.001$).



3.6. att. P_{kop} (A) un $\text{PO}_4\text{-P}$ (B) (mg L^{-1}) saistība ar vidēja putekļaina smilšmāla (sMp2) īpatsvaru (%) Bērzes upes izpētes līmeni, 2005.–2021. g.

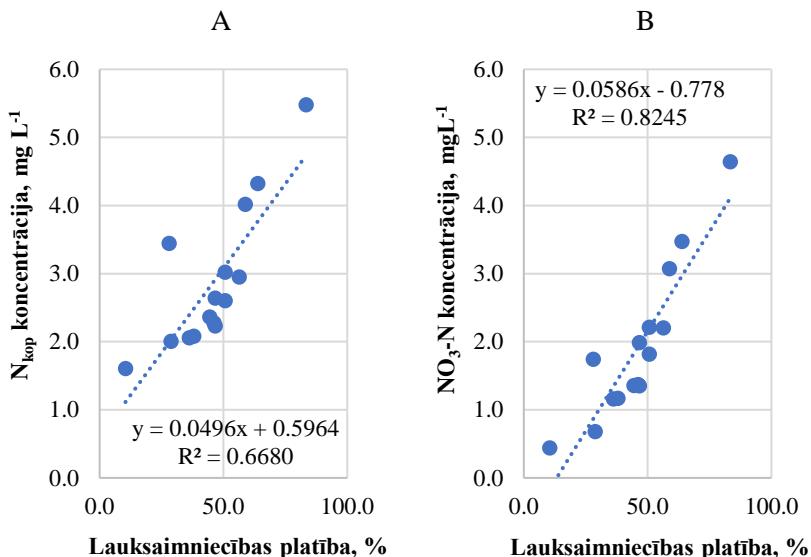
Gada vidējās P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ koncentrāciju vērtības Bērzes upes daļbaseinos vidēja putekļaina smilšmāla (sMp2) īpatsvars izskaidro ar R^2 0.59 un 0.63 ($p < 0.001$). Vērojams plašs vērtību diapazons grants (Gr), irdenas smilts (iS), smaga un vidēja māla (M1), mālainas grants (mGr), mālsmilts (mS), putekļainas mālsmilts (mSp), smaga smilšmāla (sM2), vidēja smilšmāla (sM2), viegla smilšmāla (sM3), smaga putekļaina smilšmāla (sMp1), viegla putekļaina smilšmāla (sMp3), saistīgas smilts (sS), kūdras (T), labi sadalījušās kūdras (l), vidēji sadalījušās kūdras (vd), vāji sadalījušās kūdras (vj) īpatsvaru ietekmes rādītājiem uz gada vidējo N_{kop} , $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ koncentrāciju vērtībām (R^2 vērtības ir robežas no 0.00 līdz 0.42 ($p < 0.001$)).

3.3. Antropogēno faktoru ietekme uz slāpekļa un fosfora savienojumu izskalošanos

3.3. apakšnodalā veikta antropogēno faktoru ietekmes uz augu barības vielu koncentrācijām izvērtēšana lauksaimniecības notecei pētījuma teritorijās.

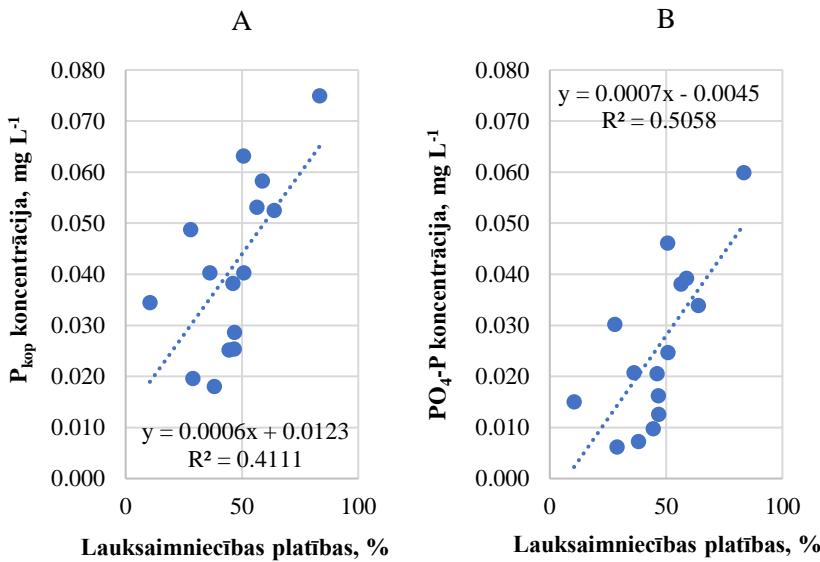
Zemes lietojuma veida sadalījuma īpatsvara ietekme izvērtēta Bērzes upes izpētes līmenim (Bērzes upes daļbaseiniem). Lai raksturotu zemes lietojuma veida īpatsvara sateces baseinā ietekmi uz augu barības vielu koncentrāciju vērtībām, veikta CLC 2018 datu analīze. Zemes lietojuma veida sadalījumu

Īpatsvara nozīmīgākā ietekme uz N_{kop} , $NO_3\text{-N}$, P_{kop} un $PO_4\text{-P}$ koncentrāciju vērtībām Bērzes upes izpētes līmenī attēlota 3.7., 3.8. attēlos.



3.7. att. N_{kop} (A) un $NO_3\text{-N}$ (B) (mg L^{-1}) saistība ar lauksaimniecības zemju īpatsvaru (%) Bērzes upes izpētes līmenī, 2005. – 2021. g.

Vidējās N_{kop} un $NO_3\text{-N}$ koncentrāciju vērtības Bērzes upes daļbaseinos lauksaimniecības zemju īpatsvars izskaidro ar R^2 ir 0.67 un 0.82 ($p<0.001$). Korelācijas koeficients starp N_{kop} un $NO_3\text{-N}$ koncentrāciju vērtībām un lauksaimniecības zemju īpatsvaru sateces baseinā ir 0.82 un 0.91 ($p<0.001$), secināms, ka sateces baseinā palielinoties lauksaimniecības zemju īpatsvaram, N_{kop} un $NO_3\text{-N}$ koncentrācijas notecē palielināsies, kas ir saskaņā ar literatūrā izpētīto (Huang et al. 2013; Medowell et al. 2001). Pretēji, apskatot N_{kop} un $NO_3\text{-N}$ koncentrāciju vērtību saistību ar meža un dabisko platību īpatsvaru, N_{kop} un $NO_3\text{-N}$ koncentrācijas notecē samazināsies (korelācijas koeficients ir -0.76 un -0.85 ($p<0.001$)). Notecei no lauksaimniecības platībām raksturīgs augsts $NO_3\text{-N}$ īpatsvars, kas izskaidro ciešāku izskaidrojamības pakāpi starp vidējām $NO_3\text{-N}$ koncentrācijām un lauksaimniecības zemju īpatsvaru sateces baseinā.



3.8. att. P_{kop} (A) un $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg L^{-1}) saistība ar lauksaimniecības zemju īpatsvaru (%) Bērzes upes izpētes līmenī, 2005. – 2021. g.

Vidējās P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ koncentrāciju vērtības Bērzes upes daļbaseinos un lauksaimniecības zemju īpatsvars izskaidro ar R^2 ir 0.37 un 0.48 (0.001). Korelācijas koeficients starp P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ koncentrāciju vērtībām un lauksaimniecības zemju īpatsvaru sateces baseinā ir 0.61 un 0.69 ($p < 0.001$), secināms, ka sateces baseinā palielinoties lauksaimniecības zemju īpatsvaram, palielināsies P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ koncentrācijas notecē, kas atbilst literatūrā apskatītajam (McDowell and Sharpley 2001). Pretēji, apskatot koncentrāciju vērtību saistību ar meža un dabisko platību īpatsvaru, P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ koncentrācijas notecē samazināsies (korelācijas koeficients ir -0.60 un -0.68 ($p < 0.001$)).

Izvērtējot zemes lietojuma veida ietekmi uz augu barības vielu koncentrācijām, secināms, ka, plānojot ūdens kvalitātes uzlabošanas pasākumus sateces baseinā, ir jāpievērš uzmanība lauksaimniecības zemju īpatsvaram.

Kultūraugu īpatsvara sateces baseinā ietekmes izvērtējums veikts Bērzes upes izpētes līmenim (Bērzes upes daļbaseiniem). Augu barības vielu koncentrāciju saistības ietekmei ar kultūraugu īpatsvaru Bērzes upes daļbaseinos vērojams plaš vērtību diapazons (R^2 vērtības ir robežās no 0.00 līdz 0.42 ($p < 0.001$)). Vidējās N_{kop} un $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrāciju vērtības Bērzes upes daļbaseinos ziemas rapša īpatsvars izskaidro ar R^2 ir 0.33 un 0.40 ($p < 0.001$). Savukārt gada vidējās P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ koncentrāciju vērtības ziemas kviešu īpatsvars Bērzes upes daļbaseinos izskaidro ar R^2 ir 0.28 un 0.35 ($p < 0.001$).

Gada vidējo N_{kop} , $NO_3\text{-}N$, $NH_4\text{-}N$, P_{kop} un $PO_4\text{-}P$ koncentrāciju vērtības vasaras kvieši, vasaras rapši, lauku pupas, aramzeme, ilggadīgie zālāji un kukurūza izskaidro ar R^2 no 0.00 līdz 0.27.

Meliorācijas sistēmu ietekmes izvērtējums veikts izvērtējot drenēto platību īpatsvara Bērzes upes daļbaseinos (Bērzes upes izpētes līmenis) ietekmi uz augu barības vielu koncentrācijām.

Gada vidējās N_{kop} , $NO_3\text{-}N$, $NH_4\text{-}N$, P_{kop} un $PO_4\text{-}P$ koncentrāciju vērtības Bērzes upes daļbaseinos drenēto platību īpatsvars izskaidro ar R^2 0.27, 0.39, 0.07, 0.24 un 0.27 ($p<0.001$). Izvērtējot meliorācijas sistēmu ietekmi uz augu barības vielu koncentrācijām, secināms, ka palielinoties drenēto platību īpatsvaram sateces baseinā, lai arī determinācijas koeficients ir salīdzinoši zems, vērojama tendence ūdenī šķistošajām slāpeklā un fosfora savienojumu formu ($NO_3\text{-}N$ un $PO_4\text{-}P$) koncentrācijām palielināties, tādēļ izvērtējot faktorus, kas sateces baseinā ietekmē augu barības vielu zudumus, jāņem vērā drenēto platību īpatsvars.

Izkliedētā slāpekļa saturoša minerālā mēslojuma ietekmes izvērtējums veikts Mellupītes drenu lauka izpētes līmenim. Pētījuma periodā pastāv izteikta variācija starp ar izkliedētā slāpeklā daudzumu un N_{kop} zudumiem un to procentuālo attiecību. Izvērtējot izkliedētā slāpeklā apjoma un N_{kop} zudumus laika periodā no 1995. g. līdz 2021. g., vidējais uzliktais mēslojuma daudzums ir 159.4 kg ha^{-1} , N_{kop} zudumi 17.8 kg ha^{-1} un attiecīgi vidējie zudumi notece sastāda 13.4% no uzliktā mēslojuma apjoma.

Dzīvnieku vienību skaita sateces baseinā ietekmes izvērtējums veikts Bērzes upes izpētes līmenim (Bērzes upes daļbaseiniem). Izvērtējot dzīvnieku vienību skaita ietekmi uz N_{kop} , $NO_3\text{-}N$, $NH_4\text{-}N$, P_{kop} un $PO_4\text{-}P$ koncentrāciju vērtībām, secināms, ka dzīvnieku vienību skaits augu barības vielu koncentrāciju vērtības izskaidro ar R^2 0.04, 0.01, 0.01, 0.16, 0.19 ($p<0.001$). Izvērtējot dzīvnieku vienību skaita sateces baseinā ietekmi uz augu barības vielu koncentrācijām, secināms, ka upes sateces baseina izpētes līmenī (Bērzes upes daļbaseini) rezultāti nesniedz pilnvērtīgu priekšstatu par dzīvnieku vienību skaita uz lauksaimniecības noteces kvalitāti, tādēļ nepieciešami padziļināti pētījumi.

3.4. Dabisko un antropogēno faktoru savstarpējā ietekme uz slāpekļa un fosfora savienojumu izskalošanos

Lai izvērtētu dabisko un antropogēno agrohidroloģisko faktoru summāro ietekmi uz augu barības vielu vidējām koncentrācijām (rezultaīvajām pazīmēm N_{kop} , $NO_3\text{-}N$, $NH_4\text{-}N$, P_{kop} un $PO_4\text{-}P$ koncentrācijām) pētījuma periodā, Bērzes upes izpētes līmenim (Bērzes upes daļbaseiniem) veikta daudzfaktoru regresijas analīze.

Daudzfaktoru regresijas analīzes rezultāti attēloti vienādojumos Nr. 3.1. līdz Nr. 3.5.

$$N_{kop \ (4,0.95)} = 2.89 + (-0.84 sl) (0.04 \times CLC_{maks}) (0.09 \times CLC_{uo}) (0.44 \times GS_m) \quad (3.1)$$

kur

N_{kop}	– rezultatīvā pazīme, mg L ⁻¹ ;
sl	– vidējais zemes virsmas slīpums daļbaseinā, %;
CLC_{maks}	– zemes lietojuma veids: mākslīgo (urbāno) platību īpatsvars daļbaseinā, %;
CLC_{uo}	– zemes lietojuma veids: ūdenstilpņu īpatsvars daļbaseinā, %;
GS_m	– augsnēs granulometriskā sastāva: mālainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, %.

Bērzes upes izpētes līmenī, pētījuma periodā, vidējās N_{kop} koncentrāciju vērtības (3.1. vienādojums) statistiski ticami palielina mālainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, ūdenstilpņu un mākslīgo (urbāno) platību īpatsvars daļbaseinā, samazina vidējais zemes virsmas slīpums daļbaseinā, savukārt statistiski ticami neietekmē vidējā gaisa temperatūra, gada vidējo nokrišņu summa, drenēto platību īpatsvars daļbaseinā, lauksaimniecības platību īpatsvars daļbaseinā, mežu un dabisko platību īpatsvars daļbaseinā, mitrzemju (purvu) īpatsvars daļbaseinā, grants īpatsvars daļbaseinā, smilšainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, mālsmilts augšņu īpatsvars daļbaseinā, smilšmāla augšņu īpatsvars daļbaseinā, purva (kūdras) augšņu īpatsvars daļbaseinā, vidējais dzīvnieku vienību skaits daļbaseinā pētījuma periodā. Determinācijas koeficiente vērtība regresijas vienādojumam ir 0.86.

$$NO_3N_{(7,0.95)} = -5.99 + (-0.68 sl) (0.03 \times CLC_{maks}) (0.07 \times CLC_{uo}) (0.30 \times GS_{gr}) (0.43 \times GS_m) (0.12 \times GS_{ms}) (0.09 \times GS_{sm}) \quad (3.2)$$

kur

NO_3N	– rezultatīvā pazīme, mg L ⁻¹ ;
sl	– vidējais zemes virsmas slīpums daļbaseinā, %;
CLC_{maks}	– zemes lietojuma veids: mākslīgo (urbāno) platību īpatsvars daļbaseinā, %;
CLC_{uo}	– zemes lietojuma veids: ūdenstilpņu īpatsvars daļbaseinā, %;
GS_{gr}	– augsnēs granulometriskā sastāva: grants īpatsvars daļbaseinā, %;
GS_m	– augsnēs granulometriskā sastāva: mālainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, %;
GS_{ms}	– augsnēs granulometriskā sastāva: mālsmilts augšņu īpatsvars daļbaseinā, %;
GS_{sm}	– augsnēs granulometriskā sastāva: smilšmāla augšņu īpatsvars daļbaseinā, %.

Bērzes upes izpētes līmenī, pētījuma periodā, vidējās NO_3-N koncentrāciju vērtības palielina mālainu augšņu, grants, mālsmilts augšņu,

smilšmāla augšņu īpatsvars daļbaseinā, ūdenstilpņu un mākslīgo (urbāno) platību īpatsvars daļbaseinā, samazina zemes virsmas slīpums daļbaseinā, savukārt statistiski ticami neietekmē vidējā gaisa temperatūra, gada vidējo nokrišņu summa, drenēto platību īpatsvars daļbaseinā, lauksaimniecības platību īpatsvars daļbaseinā, mežu un dabisko platību īpatsvars daļbaseinā, mitrzemju (purvu) īpatsvars daļbaseinā, smilšainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, purva (kūdras) augšņu īpatsvars daļbaseinā, vidējais dzīvnieku vienību skaits daļbaseinā pētījuma periodā. Determinācijas koeficienta vērtība regresijas vienādojumam ir 0.97.

$$NH_4N_{(5,0.95)} = 0.151 + (-0.047 \cdot sl) (0.004 \times CLC_{maks}) \\ (0.016 \times CLC_{uo})(0.001 \times CLC_m)(-0.005 \times GS_{ms}) \quad (3.3)$$

kur

- NH_4N – rezultatīvā pazīme, mg L⁻¹;
- sl – vidējais zemes virsmas slīpums daļbaseinā, %;
- CLC_{maks} – zemes lietojuma veids: mākslīgo (urbāno) platību īpatsvars daļbaseinā, %;
- CLC_{uo} – zemes lietojuma veids: ūdenstilpņu īpatsvars daļbaseinā, %;
- CLC_m – zemes lietojuma veids: mežu un dabisko platību īpatsvars daļbaseinā, %;
- GS_{ms} – augsnēs granulometriskā sastāva: mālsmilts augšņu īpatsvars daļbaseinā, %.

Bērzes upes izpētes līmenī, pētījuma periodā, vidējās NH₄-N koncentrāciju vērtības palielina ūdenstilpņu, mākslīgo (urbāno) platību, mežu un dabisko platību īpatsvars daļbaseinā, samazina zemes virsmas slīpums daļbaseinā, kā arī mālsmilts augšņu īpatsvars daļbaseinā, savukārt statistiski ticami neietekmē vidējā gaisa temperatūra, gada vidējo nokrišņu summa, drenēto platību īpatsvars daļbaseinā, lauksaimniecības platību īpatsvars daļbaseinā, mitrzemju (purvu) īpatsvars daļbaseinā, grants īpatsvars daļbaseinā, mālainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, smilšainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, smilšmāla augšņu īpatsvars daļbaseinā, purva (kūdras) augšņu īpatsvars daļbaseinā, vidējais dzīvnieku vienību skaits daļbaseinā pētījuma periodā. Determinācijas koeficienta vērtība regresijas vienādojumam ir 0.93.

$$P_{kop\ (7,0.95)} = -0.087 + (-0.120 sl) (0.001 \times CLC_{maks}) \\ (0.002 \times CLC_{mz}) (0.002 \times CLC_{uo}) (0.005 \times GS_m) (0.002 \times \\ \times GS_{sm}) (0.001 \times Dzv) \quad (3.4)$$

kur

- P_{kop} – rezultatīvā pazīme, mg L⁻¹;
- sl – vidējais zemes virsmas slīpums daļbaseinā, %;
- CLC_{maks} – zemes lietojuma veids: mākslīgo (urbāno) platību īpatsvars daļbaseinā, %;
- CLC_{mz} – zemes lietojuma veids: mitrzemju (purvu) īpatsvars daļbaseinā, %;
- CLC_{uo} – zemes lietojuma veids: ūdenstilpņu īpatsvars daļbaseinā, %;
- GS_m – augsnēs granulometriskā sastāva: mālainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, %;
- GS_{sm} – augsnēs granulometriskā sastāva: smilšmāla augšņu īpatsvars daļbaseinā, %;
- Dzv – vidējais dzīvnieku vienību skaits daļbaseinā, gab.

Bērzes upes izpētes līmenī, pētījuma periodā, vidējās P_{kop} koncentrāciju vērtības palielina mālainu un smilšmāla augšņu īpatsvars daļbaseinā, ūdenstilpņu, mitrzemju (purvu), mākslīgo (urbāno) platību īpatsvars daļbaseinā, vidējais dzīvnieku vienību skaits daļbaseinā, samazina zemes virsmas slīpums daļbaseinā, savukārt statistiski ticami neietekmē vidējā gaisa temperatūra, gada vidējo nokrišņu summa, drenēto platību īpatsvars daļbaseinā, lauksaimniecības platību īpatsvars daļbaseinā, mežu un dabisko platību īpatsvars daļbaseinā, grants īpatsvars daļbaseinā, smilšainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, mālsmilts augšņu īpatsvars daļbaseinā, purva (kūdras) augšņu īpatsvars daļbaseinā. Determinācijas koeficiente vērtība regresijas vienādojumam ir 0.94.

$$PO_4 P_{(7,0.95)} = -0.071 + (-0.010 sl) (0.001 \times CLC_{maks}) \\ (0.001 \times CLC_{mz}) (0.002 \times CLC_{uo}) (0.005 \times GS_m) (0.001 \times \\ \times GS_{sm}) (0.001 \times Dzv) \quad (3.5)$$

kur

- $PO_4 P$ – rezultatīvā pazīme, mg L⁻¹;
- sl – vidējais zemes virsmas slīpums daļbaseinā, %;
- CLC_{maks} – zemes lietojuma veids: mākslīgo (urbāno) platību īpatsvars daļbaseinā, %;
- CLC_{mz} – zemes lietojuma veids: mitrzemju (purvu) īpatsvars daļbaseinā, %;
- CLC_{uo} – zemes lietojuma veids: ūdenstilpņu īpatsvars daļbaseinā, %;
- GS_m – augsnēs granulometriskā sastāva: mālainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, %;
- GS_{sm} – augsnēs granulometriskā sastāva: smilšmāla augšņu īpatsvars daļbaseinā, %;
- Dzv – vidējais dzīvnieku vienību skaits daļbaseinā, gab.

Bērzes upes izpētes līmenī, pētījuma periodā, vidējās $\text{PO}_4\text{-P}$ koncentrāciju vērtības palielina mālainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, ūdenstilpņu, mākslīgo (urbāno) platību, mitrzemju (purvu) īpatsvars daļbaseinā, smilšmāla augšņu īpatsvars daļbaseinā un vidējais dzīvnieku vienību skaits daļbaseinā, samazina zemes virsmas slīpums daļbaseinā, savukārt statistiski ticami neietekmē vidējā gaisa temperatūra, gada vidējo nokrišņu summa, drenēto platību īpatsvars daļbaseinā, lauksaimniecības platību īpatsvars daļbaseinā, mežu un dabisko platību īpatsvars daļbaseinā, grants īpatsvars daļbaseinā, smilšainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, mālsmilts augšņu īpatsvars daļbaseinā, purva (kūdras) augšņu īpatsvars daļbaseinā. Determinācijas koeficienta vērtība regresijas vienādojumam ir 0.95.

Izvērtējot regresijas vienādojumus vidējām N_{kop} , $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ koncentrācijām Bērzes upes izpētes līmenim (Bērzes upes daļbaseini) pētījuma periodā, secināms, ka mijiedarbībā ar citiem faktoriem, augu barības vielu koncentrācijas statistiski ticami samazina vidējais zemes virsmas slīpums daļbaseinā, kā arī statistiski ticami palielina mākslīgo (urbāno) platību īpatsvars daļbaseinā, kā arī ūdenstilpņu skaits daļbaseinā. Kopumā izvērtējot faktorus, kas savstarpēji mijiedarbojoties ietekmē vidējās N_{kop} , $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ koncentrāciju vērtības, plānojot ūdens kvalitātes uzlabošanas pasākumu ieviešanu, nepieciešams pastiprināti pievērst uzmanību raksturīgajam zemes lietojuma veidam sateces baseinā, augnes granulometriskajam sastāvam (īpaši mālainu, mālsmilts un smilšmāla augšņu īpatsvaram), kā arī vidējam dzīvnieku vienību skaitam daļbaseinā.

Pētījumā raksturoti dabiskie un antropogēnie faktori, kas ietekmē lauksaimniecības notecei kvalitāti (N_{kop} , $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ koncentrācijas) pētījuma periodā un attiecīgi sniedz priekšstatu par nepieciešamo pasākumu virzienu, lai uzlabotu notecei kvalitāti. Pētījumā Bērzes, Mellupītes un Vienziemītes monitoringa staciju drenu lauka un sateces baseina izpētes līmenim, kā arī Bērzes upes (Bērzes upes daļbaseini), G264 Aģes, L118 Auces, V046 Ēdas, V093 Sločenes izpētes līmeņos aprēķini veikti izmantojot gada vidējās notecei, N_{kop} , $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, P_{kop} un $\text{PO}_4\text{-P}$ koncentrāciju un zudumu vērtības. Lai sniegtu priekšlikumus par nepieciešamajiem pasākumiem lauksaimniecības notecei kvalitātes uzlabošanai, nepieciešami papildu pētījumi, kuros datus apskatīt ne tikai gada vidējo vērtību griezumā, bet arī detalizētākā līmenī (mēnešu, sezonu griezumā).

SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI

1. Dabiskie un antropogēnie faktori, kas var ietekmēt augu barības vielu zudumus no lauksaimnieciskās darbības ietekmētajiem izkliedētā (difūzā) un punktveida piesārņojuma avotiem, ir atmosfēras nokrišņi, gaisa temperatūra, notece, augsnēs tips (augsnēs granulometriskais sastāvs, augsnēs infiltrācijas koeficients, organisko vielu saturs augsnē, augsnēs ūdens uzkrāšanas spēja, augsnēs organisko vielu mineralizācija, erozija), reljefs (zemes virsmas slīpums, ainavas iezīmes), zemes lietojuma veids (lauksaimniecībā izmantojamo zemju platība sateces baseinā), aramzemes īpatsvars, kultūrauga veids, lauksaimnieciskās darbības (augsnēs apstrādes veids un laiks, slāpekļa un fosfora mēslošanas līdzekļu lietošanas laiks un devas, kūtsmēslu iestrādes laiks un metode, kūtsmēslu novietņu izvēle, augu barības vielu satura neizvērtēšana kūtsmēlos, augu seka, mājdzīvnieku blīvums), meliorācijas sistēmas, buferjoslas, klimata pārmaiņas.
2. Drenu lauka un sateces baseina izpētes līmenī gada vidējā nokrišņu daudzuma ietekme uz gada vidējo noteci vērtējama kā vidēja, jo abu raksturlielumu lineārās regresijas vienādojumu determinācijas koeficienti ir robežas no 0.44 līdz 0.64. Iegūtie rezultāti liecina, ka noteci ietekmē ne tikai gada vidējais nokrišņu daudzums, bet arī citi faktori, piemēram, nokrišņu izkrišanas sezonalitāte, gaisa temperatūra, augsnēs granulometriskais sastāvs, kultūraugs.
3. Noteces apjoma palielināšanās drenu lauka izpētes līmenī, salīdzinot ar mazā sateces baseina izpētes līmeni, izteiktāk veicina N_{kop} zudumu palielināšanos, attiecīgi N_{kop} zudumi drenu izpētes līmenī ir jutīgāki pret noteces mainību, pretēji P_{kop} zudumu vērtības drenu lauka izpētes līmenī ir ar mazāku izkliedi nekā sateces baseina izpētes līmenī, kas liecina, ka mazā sateces baseina izpētes līmenī jāņem vērā ne tikai drenu noteces, bet arī virszemes noteces veidošanās ietekme uz P_{kop} zudumiem.
4. Nozīmīgākais dabiskais faktors, kas upes izpētes līmenī palielina gada vidējās N_{kop} , NO_3-N , P_{kop} un PO_4-P koncentrāciju vērtības, ir vidēja putekļaina smilšmāla ($sMp2$) īpatsvars sateces baseinā, savukārt nozīmīgākais faktors, kas palielina vidējās NH_4-N koncentrāciju vērtības ir saistīgas smilts (sS) īpatsvars sateces baseinā. Ietekme, kas ir statistiski mazāk nozīmīga, raksturīga citu augsnēs veidu īpatsvaram sateces baseinā, kā arī zemes virsmas slīpumam.
5. Nozīmīgākais antropogēnais faktors, kas upes izpētes līmenī palielina gada vidējās N_{kop} , NO_3-N un PO_4-P vērtības ir lauksaimniecības platību īpatsvars sateces baseinā, nozīmīgākais faktors, kas palielina gada vidējās NH_4-N koncentrāciju vērtības ir ūdenstilpju īpatsvars sateces baseinā, savukārt nozīmīgākais faktors, kas palielina gada vidējās P_{kop} koncentrāciju vērtības ir papuves īpatsvars sateces baseinā. Ietekme, kas ir statistiski mazāk nozīmīga, raksturīga citu zemes lietojuma veidu, kultūraugu īpatsvaram, kā arī drenēto platību īpatsvaram un dzīvnieku vienību skaitam sateces baseinā.

6. Augu barības vielu (N_{kop} , $NO_3\text{-N}$, $NH_4\text{-N}$, P_{kop} un $PO_4\text{-P}$) koncentrācijas upes izpētes līmenī statistiski ticami savstarpēji ietekmē sekojoši dabiskie un antropogēnie faktori, kurus nepieciešams ķemt vērā vērtējot un plānojot pasākumus augu barības vielu samazināšanai no lauksaimniecības zemēm:

6.1. vidējās N_{kop} koncentrāciju vērtības palielina mālainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, ūdenstilpņu un mākslīgo (urbāno) platību īpatsvars daļbaseinā;

6.2. vidējās $NO_3\text{-N}$ koncentrāciju vērtības palielina mālainu augšņu, grants, mālsmilts augšņu, smilšmāla augšņu īpatsvars daļbaseinā, ūdenstilpņu un mākslīgo (urbāno) platību īpatsvars daļbaseinā;

6.3. vidējās $NH_4\text{-N}$ koncentrāciju vērtības palielina ūdenstilpņu, mākslīgo (urbāno) platību, mežu un dabisko platību īpatsvars daļbaseinā un vērtības samazina mālsmilts augšņu īpatsvars daļbaseinā;

6.4. vidējās P_{kop} koncentrāciju vērtības palielina mālainu un smilšmāla augšņu īpatsvars daļbaseinā, ūdenstilpņu, mitrzemju (purvu), mākslīgo (urbāno) platību īpatsvars daļbaseinā, vidējais dzīvnieku vienību skaits daļbaseinā;

6.5. vidējās $PO_4\text{-P}$ koncentrāciju vērtības palielina mālainu augšņu īpatsvars daļbaseinā, ūdenstilpņu, mākslīgo (urbāno) platību, mitrzemju (purvu) īpatsvars daļbaseinā, smilšmāla augšņu īpatsvars daļbaseinā un vidējais dzīvnieku vienību skaits daļbaseinā;

6.6. vidējās N_{kop} , $NO_3\text{-N}$, P_{kop} un $PO_4\text{-P}$ koncentrāciju vērtības samazina vidējais zemes virsma slīpums daļbaseinā.

7. Lai ne tikai raksturotu dabisko un antropogēno faktoru ietekmi uz ūdeņu kvalitāti pētījuma periodā, bet arī prognozētu augu barības vielu izskalošanos ietekmējošos faktorus, nepieciešami pētījumi plašākā ģeogrāfiskā mērogā, ietverot papildu pētījumu vietas drenu lauka, mazā sateces baseina un upes līmeņos, kā arī monitoringa rezultātu un ģeotelpiskās informācijas izpēti mēnešu un sezonālā griezumā.

8. Iegūtie rezultāti par agrohidroloģisko faktoru ietekmi uz lauksaimniecības notecees kvalitāti, izmantojamīji ierosinājumu izstrādei par augsnēs un ūdens apsaimniekošanas pasākumiem lauksaimniecības zemēs, upju baseinu apsaimniekošanas plānu veidošanā, kā arī rekomendāciju izstrādei Nitrātu direktīvas (91/676/EK) un Ūdens struktūrdirektīvas (2000/60/EK) mērķu izpildes sasniegšanai Latvijā.

INTRODUCTION

Water resources are used to support the activities of different sectors of the economy. The most important sectors consuming surface and groundwater in Latvia are utilities (about 45%), agriculture (about 25%) and industry (about 20%) (Vides politikas pamatnostādnes 2021). Pollution by nutrients (biogenic elements), mainly from industrial and municipal wastewater, as well as agricultural runoff, constitute major pressure on inland waters (Eiropas Revīzijas Palāta 2016; HELCOM 2021). Latvia is located on the coast of the Baltic Sea, one of the most polluted seas in the world (Baltic Sea 2021). According to the HELCOM Baltic Sea Action Plan and the 2019 European Economic Community Report, agriculture (nitrate-nitrogen from agriculture) is the main source of diffuse pollution of surface waters, mainly due to increased emissions of nutrients and chemicals (European Commision Report 2019; HELCOM 2007). The Baltic Sea receives about 78% of all nitrogen and 95% of all phosphorus pollution in river runoff (Eiropas Revīzijas Palāta 2016).

The removal of nutrients by agricultural runoff is an unavoidable process; if the amount of nutrients in the soil exceeds the nutrient uptake capacity of the plants, contamination of surface water with nutrients will result. Intensive eutrophication processes (increased plant growth and death due to nutrient pollution) and hypoxia (reduced oxygen concentrations) in inland water bodies (Howarth 2008; Moore et al. 2010), as well as in the Gulf of Riga and the Baltic Sea (HELCOM 2021), have been identified as the most important negative effects of nitrogen and phosphorus pollution. Although water quality in the Baltic Sea is improving in the long term, the State of the Baltic Sea Report (2011–2016) concludes that about 96% of the Baltic Sea area is assessed as poor or medium quality including the entire open sea area and 86% of coastal waters (HELCOM 2018). The water system is a single unit, so the water quality of the Baltic Sea is influenced by the ecological quality of inland surface water bodies including the concentration and quantity of nutrients.

In order to ensure good quality of surface and ground waters and to promote sustainable use of water resources, as well as to protect and improve the quality of water resources, a number of regulatory documents and normative acts have been established and implemented at the European Union and Latvian level. The most important documents at the EU level are Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for community action in the field of water policy (adopted on 23 October 2000) (Water Framework Directive) and Council Directive 91/676/EEC (adopted on 12 December 1991) concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources (Nitrates Directive), as well as the 1974 and 1992 Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area (Helsinki Convention). The Nitrates Directive requires Member States to

identify areas of particular sensitivity (land areas where water is or may be affected by pollution), to draw up an action programme and implement its measures to limit the use of all forms of nitrogen fertilisers and to regulate manure storage, to monitor water and to set a limit value for the maximum permissible concentration of NO_3 (EU Nitrates Directive 1991). HELCOM's report of October 2021 concludes that the 2007 target for the Baltic Sea to achieve good ecological quality by 2021 has not been met; the HELCOM Baltic Sea Action Plan was updated in 2021 and requires Member States to prevent and significantly reduce all types of pollution, including pollution by nutrients, by 2025 (HELCOM 2021). The Water Framework Directive (2000/60/EC) initially set the target of achieving good surface water status (the status a surface water body achieves when both ecological and physicochemical quality indicators are at least "good") for all surface water bodies in the EU by 2015 (EU Water Framework Directive 2000). The quality factors for the classification of ecological quality indicators for rivers in the Water Framework Directive (2000/60/EC) are: biological factors, hydromorphological factors and physicochemical quality factors (EU Water Framework Directive 2000). Overall, 40% of EU surface water bodies met the target by the deadline (EEA 2018). To ensure that the target is met, the directive has been revised to require all water bodies to achieve good qualitative and quantitative status by 2027 (Vides politikas pamatnostādnes 2021). At the same time, the medium-term policy planning document of the environmental protection sector developed by the Ministry of Environmental Protection and Regional Development (MEPRD), entitled "Environmental Policy Guidelines 2021–2027", whose objectives are subordinate to the Latvian Sustainable Development Strategy 2030 and the Latvian National Development Plan 2021–2027, sets to achieve that by 2027, the share of surface water bodies of high and good ecological quality is 35% (includes assessment of biological, hydromorphological and physicochemical indicators), as well as requires reduction of the nitrogen and phosphorus loads in the Baltic Sea in line with the targets set in the HELCOM Baltic Sea Action Plan (Vides politikas pamatnostādnes 2021). In order to explain the causes of nutrient losses and to provide a basis for solutions to improve the ecological quality of surface water bodies, it is necessary to identify the agrohydrological factors that influence the composition of agricultural runoff and the leaching of nutrients from agricultural areas.

Purpose of the study: to assess the impact of agrohydrological factors on the quality indicators of agricultural runoff in Latvia.

Tasks of the study:

1. to identify the natural and anthropogenic factors affecting nutrient losses;
2. to characterise the influence of key natural factors on the leaching of nitrogen and phosphorus from agricultural runoff in the study areas in Latvia at the drainage field, small catchment and river levels;
3. to characterise the impact of major anthropogenic factors on the leaching of nitrogen and phosphorus compounds from agricultural runoff in the study areas in Latvia at the drainage field and river levels;
4. to assess the interrelationships between natural and anthropogenic factors on the leaching of nitrogen and phosphorus compounds at the river study level.

Thesis to be defended: natural and anthropogenic agrohydrological factors influence the annual mean variability of TN, NO₃-N, NH₄-N, TP and PO₄-P concentrations in agricultural runoff at the study sites.

Scientific novelty of the thesis: the work is of high scientific importance in the Latvian and international context as the analysis of the factors influencing nutrient losses with a high level of detail, at three subordinate levels of study (drainage field, small catchment and river level) has been carried out for the first time in Latvia. The novelty of the thesis includes the evaluation of the influence of soil texture, agricultural crops, proportion of drained areas and number of livestock units in the catchment as individual factors on nutrient concentrations. In addition, the scientific novelty of the study is driven by the evaluation of the summary influence of multiple factors (mean air temperature, mean annual precipitation, proportion of drained areas in the sub-basin, proportion of artificial (urban) surfaces in the sub-basin, proportion of agricultural areas in the sub-basin, proportion of forests and natural areas in the sub-basin, proportion of wetlands (marshes) in the sub-basin, proportion of water bodies in the sub-basin, proportion of gravel in the sub-basin, proportion of clay soils in the sub-basin, proportion of sandy soils in the sub-basin, proportion of loamy sand soils in the sub-basin, proportion of sandy loam soils in the sub-basin, proportion of bog (peat) soils in the sub-basin) for the annual mean values of TN, NO₃-N, NH₄-N, TP and PO₄-P concentrations at the agricultural runoff study sites. The obtained results, which describe the most important agrohydrological factors influencing the quality of agricultural runoff, provide insights into the necessary measures and suitable areas for implementation to improve runoff quality at the national level of Latvia and elsewhere.

Practical application of the thesis: the thesis has practical application in the Latvian and international context, because by identifying the most important natural and anthropogenic agrohydrological factors affecting the leaching of

nutrients from agricultural areas in Latvia and assessing the relationships, interactions and impacts of the factors, the results can be used to predict nutrient losses in equivalent agricultural areas, and the results can be used to develop suggestions for soil and water management measures in agricultural lands, to develop river basin management plans, and to achieve the objective of the Nitrates Directive (91/676/EEC) “to reduce water pollution caused by nitrates-nitrogen from agricultural sources and to prevent such pollution” and the objective of the Water Framework Directive (2000/60/EC) “to halt deterioration in the status of EU water bodies and achieve ‘good status’ for Europe’s rivers, lakes and groundwater”.

The study uses data of agricultural runoff monitoring studies at different interconnected study levels (drainage field, small catchment and river), the implementation necessity of which is determined by the Environmental Policy Guidelines 2021–2027 and the Environmental Monitoring Programme 2021–2026, Chapter 2 “Water Monitoring Programme”, developed on its basis. Section 2 of the Environmental Policy Guidelines 2021–2027 sets out the objectives for national environmental monitoring and describes the performance indicator “monitoring of agricultural runoff ensured” in Paragraph 2.2.7 (Vides politikas pamatnostādnes 2021). In addition, data obtained in the course of implementation of the project “Implementation of river basin management plans towards good surface water status” (LIFE GoodWater IP, LIFE18 IPE/LV/000014) and meteorological observations data of the SLLC “Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre” were used in the development of the thesis.

SCIENTIFIC PUBLICATIONS

1. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2022) *The effects of meteorological and hydrological conditions on nutrient losses from agricultural areas in Latvia*. Environmental and Climate Technologies 2022, 26 (1), pp. 512–523.
2. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2021) *Temporal trends in phosphorus concentrations and losses from agricultural monitoring sites in Latvia*. Environmental and Climate Technologies 2021, 25 (1), pp. 233–242.
3. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2021) *The relationships between land use and nitrogen and phosphorus concentrations in the Bērze River basin*. Engineering for Rural Development 2021, 20, pp. 417–423.
4. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2020) *Temporal trends in nitrogen concentrations and losses from agricultural monitoring sites in Latvia*. Environmental and Climate Technologies 2020, 24 (3), pp. 163–173.
5. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2018) *Analysis of Precipitation and Runoff Conditions in Agricultural Runoff Monitoring Sites*. Rural Sustainability Research 2018, 39 (334), pp. 26–31.

6. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2017) *Assessment of economic losses associated with nitrogen and phosphorus leaching in agricultural land in Latvia*. Proceedings of the 8th International Scientific Conference Rural Development 2017, Aleksandras Stulginskis University, pp. 423–427.
7. Lagzdiņš A., Grinberga L., **Siksnane I.** (2016) *Drainage water management in open ditches – solutions and effects in Latvia*. Proceedings of the 10th International Drainage Symposium Conference, 6–9 September 2016, Minneapolis, Minnesota, pp. 160–165.
8. **Siksnane I.**, Dobeļe A. (2016) *Determination of the most Effective Decontamination Options for Agricultural Runoff in Latvia Using Solutions Included in HELCOM Baltic Sea Action Plan*. Proceedings of the 11th International Scientific Conference “Students on their Way to Science”, p. 156.
9. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2015) *Soil Erosion Risk Evaluation in MPS Vecauce Agricultural Areas*. Proceedings of the 10th International Scientific Conference “Students on their Way to Science”, p. 81.

REPORTS AT CONFERENCES

1. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2023) *Sateces baseina laukuma un zemes lietojuma veida ietekme uz augu barības vielu koncentrācijām LIFE GoodWater IP četros demonstrācijas ūdensobjektos (The effects of the catchment area and land use type on nutrient concentrations in four demonstration water bodies of the LIFE GoodWater IP)*. 81st Scientific conference of University of Latvia, section “Investigations and protection of water”. Rīga, Latvija, 2023. gada 15. marts.
2. Lagzdins A., **Siksnane I.**, Sudars R., Veinbergs A., (2023) *Mērķtiecīgs ūdeņu kvalitātes monitorings lauksaimnieciskās darbības ietekmes novērtēšanai: LIFE GoodWater IP projekta pieja (Targeted monitoring of water quality to assess the impact of agricultural activity: the approach of the LIFE GoodWater IP project)*. 81st Scientific conference of University of Latvia, section “Investigations and protection of water”. Rīga, Latvija, 2023. gada 15. marts.
3. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2023) *Long-term monitoring of runoff from agricultural areas in Latvia*. 81st Scientific conference of University of Latvia, section “Climate and surface and ground-water in the Baltic region – variability, trends, and impacts”. Tiešsaiste, 2023. gada 10. marts.
4. Lagzdins A., Veinbergs A., **Siksnane I.**, Abramenko K., Grinberga L., Sudars R. (2023) *The long-term results of the Agricultural Runoff Monitoring Programme in Latvia – nitrate – nitrogen concentrations and loads*. 81st Scientific conference of University of Latvia, section “Climate and surface and ground-water in the Baltic region – variability, trends, and impacts”. Tiešsaiste, 2023. gada 10. marts.

5. Lagzdins A., Veinbergs A., Grinberga L., **Siksnane I.**, Sudars R., Abramenko K. (2022) *The long-term results of the Agricultural Runoff Monitoring Programme in Latvia: nitrate – nitrogen concentrations*. The International Interdisciplinary Conference on Land Use and Water Quality: Agriculture and the Environment (LuWQ2022). Māstrihta, Nīderlande, 2022. gada 11. – 15. septembris.
6. Lagzdins A., **Siksnane I.**, Sudars R. (2022) *Targeted water quality monitoring for implementation of river basin management plans in Latvia: the approach of the LIFE GOODWATER IP project*. The International Interdisciplinary Conference on Land Use and Water Quality: Agriculture and the Environment (LuWQ2022). Māstrihta, Nīderlande, 2022. gada 11. – 15. septembris.
7. **Siksnane I.**, Lagzdins A. *Analysis of the impacts of meteorological and hydrological variability on quality of agricultural runoff in Latvia*. The International Interdisciplinary Conference on Land Use and Water Quality: Agriculture and the Environment (LuWQ2022). Māstrihta, Nīderlande, 2022. gada 11. – 15. septembris.
8. Lagzdins A., Veinbergs A., **Siksnane I.**, Grinberga L. (2022) *The Long-Term Results of the Agricultural Runoff Monitoring Programme in Latvia*. The 11th International Drainage Symposium, Des Moines, Iowa, ASV, 2022. gada 30. augusts – 2. septembris
9. Lagzdins A., **Siksnane I.**, Sudars R., Veinbergs A., Grinberga L. (2022) *Water Quality Monitoring for Targeted Implementation of Water and Nutrient Retention Measures in Latvia: An Example of the LIFE GOODWATER IP Project*. The 11th International Drainage Symposium, Des Moines, Iowa, ASV, 2022. gada 30. augusts – 2. septembris
10. Lagzdins A., **Siksnane I.**, Sudars R., Veibergs A., Grinberga L. (2022) *Implementation of River Basin Management Plans of Latvia towards good surface water status - LIFE GOODWATER IP*. XXXI Nordic Hydrological Conference: Hydrology and Water-related Ecosystems (NHC2022), Tallina, Igaunija, 2022. gada 15. – 18. augusts.
11. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2022) *Impact of the catchment area and land use on nutrient concentrations in the water bodies selected within the LIFE GOODWATER IP project*. XXXI Nordic Hydrological Conference: Hydrology and Water-related Ecosystems (NHC2022), Tallina, Igaunija, 2022. gada 15. – 18. augusts.
12. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2022) *The effects of meteorological and hydrological conditions on nutrient losses from agricultural areas in Latvia*. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies (CONECT 2022), Rīga, Latvija, 2022. gada 11. – 13. maijs.
13. Lagzdins A., Veinbergs A., **Siksnane I.**, Grinberga L. (2022) *The Results of the Agricultural Runoff Monitoring Programme in Latvia: an Overview*.

- International seminar “Soil and Water Conservation under changing climate in Northern and high-altitude conditions”, Ås, Norway, 2022. gada 4. – 6. maijs.
14. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2021) *Temporal trends in phosphorus concentrations and losses from agricultural monitoring sites in Latvia*. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies (CONECT 2021), Rīga, Latvija, 2021. gada 12. – 14. maijs.
15. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2020) *Temporal trends in nitrogen concentrations and losses from agricultural monitoring sites in Latvia*. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies (CONECT 2020), Rīga, Latvija, 2020. gada 13. – 15. maijs.
16. Grinberga L., Lagzdins A., **Siksnane I.** (2018) *The seasonal impacts on nutrient retention in two constructed wetlands in Latvia*. European Geosciences Union General Assembly 2018, Vīne, Austrija, 2018. gada 8. – 13. aprīlis.
17. Grinberga L., Lagzdins A., **Siksnane I.** (2018) *Nitrogen, phosphorus and suspended solid retention efficiency in two constructed wetlands in Latvia*. European Geosciences Union General Assembly 2018, Vīne, Austrija, 2018. gada 8. – 13. aprīlis.
18. Lagzdins A., Sudars R., Veinbergs A., Abramenko K., Grinberga L., **Siksnane I.** (2018) *Evaluating the status and trends in water quality using long-term agricultural runoff monitoring data*. European Geosciences Union General Assembly 2018, Vīne, Austrija, 2018. gada 8. – 13. aprīlis.
19. Lagzdins A., Grinberga L., **Siksnane I.** (2018) *Practical actions for holistic agricultural drainage management for reduced nutrient losses: a case study in Latvia*. European Geosciences Union General Assembly 2018, Vīne, Austrija, 2018. gada 8. – 13. aprīlis.
20. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2018) *Analysis of Meteorological and Runoff Conditions at Agricultural Runoff Monitoring Sites*. Research for Rural Development 2018, Jelgava, Latvija, 2018. gada 17. maijs.
21. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2017) *Assessment of Economic Losses Associated with Nitrogen and Phosphorus Leaching in Agricultural Land in Latvia*. 8th International Scientific Conference Rural Development 2017, Aleksandras Stulginskis University, Kauņa, Lietuva, 2017. gada 24. novembris.
22. **Siksnane I.**, Dobeļe A. (2016) *Determination of the most Effective Decontamination Options for Agricultural Runoff in Latvia Using Solutions Included in HELCOM Baltic Sea Action Plan*. 11th International Scientific Conference “Students on their Way to Science”, Jelgava, Latvija, 2016. gada 22. aprīlis.
23. **Siksnane I.**, Lagzdins A. (2015) *Soil Erosion Risk Evaluation in MPS Vecauce Agricultural Areas*. 10th International Scientific Conference “Students on their Way to Science”, Jelgava, Latvija, 2015. gada 24. aprīlis.

1. ANALYSIS OF PREVIOUS RESEARCH

This chapter summarises the conditions affecting surface water quality, the agrohydrological factors affecting the quality and quantity of agricultural runoff, and describes the influence of natural and anthropogenic factors on the composition of agricultural runoff.

1.1. Conditions affecting surface water quality

Available freshwater represents about 1% of total water supplies (Rogers 2008), and is distributed heterogeneously across the world's regions. Demand for freshwater is projected to increase by around 1% per year as the population grows (WWAP 2018), while around 1.8 billion people will live in water-stressed areas by 2025 (Rogers 2008). Water use is influenced by water quality and quantity, local climatic and meteorological conditions, economic, industrial and agricultural development, changing patterns of water use, and national regulatory frameworks for industry and water management (WWAP 2017). The use of water is also affected by its ability to disperse substances – water can dissolve more substances than any other known substance on the planet, making it more susceptible to pollution. Water pollution is categorised according to the nature of the pollution and its source:

- chemical (inorganic substances, petroleum products, surfactants, pesticides, organic substances), physical (thermal pollution, waste) and biological (presence of animals, plants, fungi, bacteria, viruses not specific to the water body);
- point source (concentrated) and diffuse pollution.

The water cycle involves all water resources, including lithospheric and atmospheric waters, so changes in any part of the water system network can have knock-on effects, threatening water resources globally: groundwater, drainage and surface water, including the ditch network, rivers, lakes, seas and oceans (Zhang et al. 2021). Water has a natural ability to purify itself, but with increasing consumption, wastewater and industrial development, the amount of clean water is decreasing globally, so we need to reduce and limit water pollution wherever possible.

Latvia is rich in water resources: 12 400 rivers, streams and large ditches, and around 4 000 lakes and reservoirs together cover 3.7% of the country's territory (VARAM 2013). To ensure water protection and sustainability at the regional level the river basin management plans (Daugava, Gauja, Lielupe and Venta river basins) are developed for a 6-year period (latest 2021–2027) in Latvia. The results of river monitoring are summarised in the annual report on the status of surface and groundwater (River Basin District Management Plans 2021) produced by the SLLC "Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre" (LEGMC). According to the reports of the LEGMC, where the overall assessment of the quality of water bodies is based on physicochemical and

biological indicators, with the assessment of biological indicators being the most important, the results of surface water quality monitoring show that high or good ecological quality was achieved in 31% of water bodies in 2015 (50 observation stations), in 24% of water bodies in 2016 (85 observation stations), in 21% of water bodies in 2017 (136 observation stations), in 32% of water bodies in 2018 (144 observation stations), in 30% of water bodies in 2019 (137 observation stations), and in 52% of water bodies in 2020 (69 observation stations) (LVGMC 2021b). The LEGMC 2020 report concludes that 21% of water bodies are of high quality, 31% of water bodies are of good quality, 43% of water bodies are of medium quality, 4% and 1% of water bodies are of poor and very poor ecological quality classes respectively (LVGMC 2021c).

To assess the factors affecting the quality and quantity of agricultural runoff, the pressures on surface water bodies in Latvia need to be addressed. The main sources of pressures on Latvia's inland waters include industry and municipal management (water use, wastewater volume, discharge, leakage of hazardous substances), runoff from agricultural land (nutrient load, diffuse and point source pollution), inland industrial and individual fishing and aquaculture production, increasing numbers of alien and invasive species in the Gulf of Riga and Baltic Sea, hydromorphological alterations (hydropower plants, dams, polders, etc.), climate change (change in ambient temperature), flooding (substantial amount of precipitation over a short period of time), tourism and recreation, as well as transboundary transfer of pollutants (Environmental Policy Guidelines 2021).

Agriculture is influenced by a variety of natural, economic, social and political factors including climate, land use and catchment-specific biogeographical conditions (Geographical Factors Influencing Agriculture 2020). Over the past half century, the agricultural sector has expanded and intensified to meet the increased demand for food caused by population change (European Commission Report 2019). Agricultural land covers around 47% of the area of the EU-27 and the United Kingdom, with agricultural production increasing by 14.5% between 2010 and 2019 (European Commission Report 2019). The agricultural sector is not only the world's largest consumer of freshwater resources, but also contributes to water pollution (Bechmann et al. 2009; WWAP 2017). Although the development eutrophication process and the extent of cyanobacteria in water bodies (Figure 1.1) are influenced by various factors, including prolonged high air temperatures (which promote the growth of aquatic plants), low wind speeds (which prevent water mixing) and solar radiation (which allows algae to absorb sunlight, raising water temperatures), increased nitrogen to phosphorus ratios in the water also contribute to the intensification of the process (WWAP 2017). As nutrients increase in water bodies, the volume of aquatic plants and organisms increases, dissolved oxygen

is used for both growth and decomposition, resulting in increased oxygen demand and affecting oxygen availability for locally distributed biota (WWAP 2017).

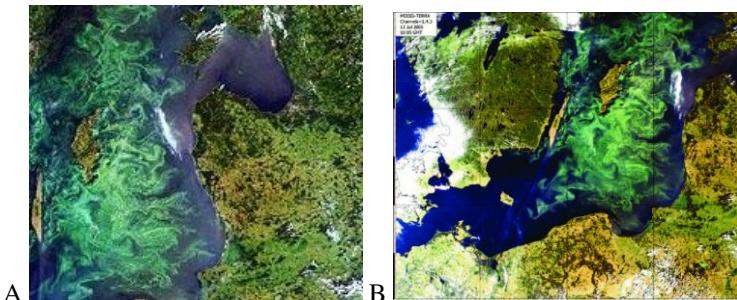


Figure 1.1. Eutrophication process in the Baltic Sea, satellite images, July 2005

A: (WWF 2011), B: (Kostianoy et al. 2006)

The Helsinki Convention was the first international agreement in the world to protect the marine environment and recognised eutrophication as a major process that is indicative of the deterioration of the Baltic Sea's water quality. It was adopted in 1974 (signed in Latvia in 1992), and, as part of the Strategic Action Plan (HELCOM Baltic Sea Action Plan) approved in 2007, various measures to reduce and prevent eutrophication continue to be integrated into the binding instruments of the Member States. The change in plant nutrient losses between 1900 and 2014 is summarised in Figure 1.2.

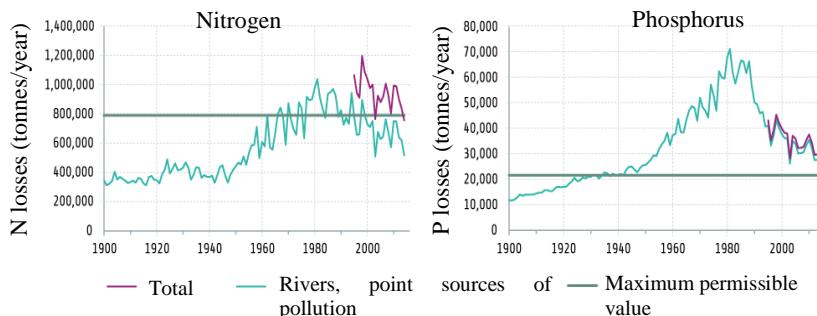


Figure 1.2. Nutrient losses to the Baltic Sea from 1900 to 2014 (HELCOM 2018)

Nutrient losses have decreased over the study period, but are generally above or close to the maximum permissible value.

1.2. Agrohydrological factors affecting the quality and quantity of agricultural runoff

HELCOM's Baltic Sea Action Plan (2021) includes five themes as focal points in the eutrophication segment: monitoring of implementation of nutrient targets, agriculture, atmospheric nitrogen emissions, wastewater sector and nutrient recycling. The management objective of the agriculture theme is to reduce human-induced nutrient inputs, with the main ecological objectives being: nutrient concentrations close to natural levels, clear water, natural algal bloom levels, natural distribution of plants and animals, and natural oxygen levels.

In order to achieve good long-term ecological quality in the Baltic Sea, the HELCOM Baltic Sea Action Plan 2021 update sets the maximum permissible leaching of TN and TP in the Baltic Sea at 792 209 tonnes TN and 21 716 tonnes TP per year, including 88 417 tonnes TN and 2 020 tonnes TP in the Gulf of Riga (HELCOM 2021). In order to achieve the objectives, it is necessary to assess the factors contributing to the pollution of the Baltic Sea with nutrients.

Several studies by other authors have shown that pollution is influenced by many factors and their interactions, including natural and anthropogenic factors:

- the Misselbrook *et al.* (1995) study shows that runoff volume, as well as the amount of nutrient losses, is influenced by soil type (infiltration coefficient and water holding capacity of the soil), the amount and intensity of precipitation and the slope of the land surface;
- the Mander *et al.* (1998) study confirms that nutrient losses are influenced by land use and meteorological conditions;
- the Tumas (2000) study on diffuse pollution sources in Lithuania concluded that the transport of nitrogen and phosphorus compounds from agricultural areas to surface water bodies is influenced by climate and agricultural practices applied;
- the study by Randall and Mulla (2001) concluded that uncontrollable factors such as atmospheric precipitation and soil organic matter mineralisation have a significant impact on runoff, nutrient concentrations and losses;
- the Sharpley *et al.* (2001) study on phosphorus losses concluded that the factors influencing TP losses are soil texture, soil organic matter content and soil infiltration rate, and further concluded that PO₄-P losses are mainly influenced by erosion, but that the transport of dissolved phosphorus species in surface and drainage runoff to surface water bodies must also be taken into account;

- the Dinnis *et al.* (2002) study concluded that $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching is caused by a combination of factors including soil treatment, drainage systems in the catchment, crop choice, soil organic matter content, as well as air temperature and atmospheric precipitation;
- the Stålnacke *et al.* (2003) study on long-term trends in nutrient concentrations in Latvian rivers concluded that increased losses of nutrients from agricultural areas occur with intensive fertiliser application, especially in situations where fertiliser application rates exceed crop nutrient requirements;
- the Sileika *et al.* (2005) study on factors influencing TN and TP losses from small catchments in Lithuania concluded that both climatic factors and agronomic factors such as soil treatment, fertilisation and livestock density are important. Increased fertiliser application in the catchment results in higher nitrogen losses ($15 \text{ kg ha}^{-1}/\text{year}$), while high phosphorus losses are observed in catchments with pronounced hills and clay soil types ($0.318 \text{ kg ha}^{-1}/\text{year}$);
- the Udawatta *et al.* (2006) study on nitrogen losses from agricultural areas concluded that nitrogen losses are influenced by landscape features, atmospheric precipitation, crop rotation and the timing of application of nitrogen-containing mineral fertilisers;
- the Absalon and Matysik (2007) study on water quality changes in a Polish river concluded that runoff volume plays an important role;
- Studies by Buciene *et al.* (2007) and Singh *et al.* (2008) show that sites with high animal densities are prone to contamination of surface water with nutrients;
 - the Cherry *et al.* (2008) study concluded that $\text{NO}_3\text{-N}$ losses are affected by excessive fertiliser application rates, failure to assess the nutrient content of manure, spreading nutrients at the wrong time, autumn ploughing, and that TP losses are influenced by erosion;
 - the literature review of the study by Leone *et al.* (2008) points out that TP losses are influenced by interactions between several factors such as climate, drainage systems in the catchment, soil texture, buffer strips, vegetation (crops) and topography;
 - the Kyllmar *et al.* (2014) study on Swedish agricultural monitoring catchments found that TN and TP losses vary with climate, soil texture, proportion of arable land, crop type and animal density;
 - the Piniewski *et al.* (2014) study on possible future scenarios in relation to nutrient losses in a water body adjacent to the Polish Baltic Sea coast concluded that the main drivers of nutrient losses are climate change and the intensity of agricultural activity (increasing $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ losses by 20% over 35 years);
 - the Rupp *et al.* (2018) long-term study on plant available phosphorus compounds in soil, in a literature review indicates that TP losses are

related to atmospheric precipitation, phosphorus fertiliser application and soil clay content;

- the Petersen *et al.* (2021) study found that there is a correlation between the average concentration of TN and NO₃-N in agricultural runoff and precipitation, climate features, runoff layer, previous year's runoff layer, annual number of days with negative temperatures, area of agricultural land in the catchment, livestock density, crops, choice of manure storage, time and method of manure application, time of soil treatment.

Based on the above, it is to be concluded that there are many natural and anthropogenic factors that can influence the leaching of nutrients from agricultural areas, therefore the factors evaluated in the following chapters of the thesis have been selected on the basis of two criteria:

- the most common factors identified in the literature as having a significant impact on the quality and quantity of agricultural runoff have been described;
- the choice of influencing factors is limited by the availability of geospatial information and monitoring data.

1.2.1. Influence of natural factors on the composition of agricultural runoff

The following most important natural factors affecting the quality of agricultural runoff, as identified in several studies (Clark, Mueller, and Mast 2000; Iital *et al.* 2010; Petersen *et al.* 2021), have been selected for further analysis:

- meteorological factors:
 - air temperature;
 - atmospheric precipitation;
- runoff;
- soil properties (texture);
- topography (slope of the surface).

Air temperature is a meteorological factor that depends on the uneven inflow of solar radiation over the months and seasons (Klimats Latvijā 2021). Seasonal and annual changes in air temperature, as well as its maximum and minimum values, affect agricultural processes including increased average air temperature affecting the length of the crop growing season as well as growth factors, in summer by promoting evaporation and potentially reducing runoff, and in winter by promoting snowmelt and potentially increasing runoff (Deelstra *et al.* 2011). The analysis of meteorological data from the LEGMC shows that there has been a steady increase in air temperature from 1961 to 2020, expressed in terms of both mean air temperature values and minimum and maximum air temperature values (LVGMC 2021). The Stuntebeck *et al.* (2011) study shows

that TP in runoff is higher during periods when the soil is not frozen ($p<0.05$) (TP 1.13-4.21 mg L⁻¹) compared to periods when the soil is frozen (TP 0.60-2.68 mg L⁻¹). The length of the growing season (i.e. the number of days per year when the average daily temperature is at least +5 °C) has a significant effect on NO₃-N leaching rate, because during the growing season plants use NO₃-N for growth processes and thus NO₃-N leaching is prevented or reduced (Andersen et al. 2014).

Atmospheric precipitation describes meteorological information. Precipitation is caused when the atmosphere becomes saturated with water vapour, which falls from clouds by gravity after reaching a condensation point. There are several forms of precipitation that are seasonal: rain, snow, hail and dew (LVGMC 2014). The impact of precipitation on runoff is significant; even a few days of heavy precipitation can lead to an increase in average annual runoff (Andersen et al. 2014; Randall and Mulla 2001; De Vos 2001). Runoff in the warm season is influenced by the amount and intensity of rainfall, the duration of precipitation and air temperature, while in winter it is influenced by the thickness of the snow layer, the speed and intensity of snowmelt. The seasonal distribution of precipitation (i.e. total annual precipitation compared to precipitation during the growing season) also affects runoff (Udawatta et al. 2006). Extreme precipitation events contribute to greatly increased runoff and thus cause significant leaching of TN (Øygarden et al. 2014), while heavy rainfall and significant runoff cause less NO₃-N loss than repeated moderate rainfall events with low runoff (Jakab et al. 2017). Lack of precipitation in summer (period of drought) leads to increased TN losses in the following seasons, mainly on agricultural land cultivated in autumn (Bechmann and Bøe 2021).

Runoff is the terrestrial stage of the water cycle, when water moves over the land surface, soil and rock layers. A distinction is made between subsurface and surface runoff. Surface runoff is generated during short and intense precipitation events (rain) or snowmelt. Surface runoff can lead to soil erosion by water, which can release phosphorus compounds bound to soil particles and organic matter into drainage systems and watercourses (Tunney, Brookes, and Johnston 1997). Drainage runoff can be a significant contributor to TN (89%) and TP (76%) losses (Bechmann and Bøe 2021). There is a relationship between precipitation and runoff volume, and between runoff volume and TN losses (Absalon and Matysik 2007; Øygarden et al. 2014; Randall and Mulla 2001). Runoff volume is seasonal (Øygarden et al. 2014).

Soil characteristics and topography. Land resources, which include soils, their characteristics and topography, are important for agricultural production. Soil characteristics are influenced by topography (slope, altitude), soil fertility (including organic matter supply, soil reaction levels, biological activity), texture, moisture regime and drainage systems, as well as processes

such as soil erosion, soil depletion, salinisation and contamination (Bušmanis 1999; Misselbrook et al. 1995). Soils with drainage systems installed are more likely to infiltrate water; a study in Lithuania found that the amount of nutrients transported by drainage waters depends on the soil structure with losses of nutrients in sandy soils often twice as high as in sandy loam soils (Povilaitis et al. 2015). Slope gradient and surface conditions affect $\text{NO}_3\text{-N}$ losses by influencing the infiltration rate and the volume of water infiltrated. The Jakob et al. (2017) study found that steeper slopes increase surface runoff and TN losses through drainage systems are lower as infiltration is facilitated.

1.2.2. Influence of anthropogenic factors on the composition of agricultural runoff

While natural factors play a role in the quality of agricultural runoff, human activities also affect the characteristics of water resources. Studies (Abid and Lal 2009; European Commission 2019; Grote, Craswell, and Vlek 2005; Merseburger, Martí, and Sabater 2005) identify a number of important anthropogenic factors influencing the composition of agricultural runoff:

- the proportion of the type of land use in the catchment;
- the proportion of the crop in the catchment;
- drainage systems (proportion of drained areas in the catchment);
- agronomic factors (amount of mineral nitrogen fertiliser spread);
- livestock facilities (number of animal units in the catchment).

To assess the quality of the most important anthropogenic influences on agricultural runoff, the above factors are studied in more detail.

Type of land use is a characterisation of land based on its use. According to the land cover mapping (*Corine Land Cover CLC*) nomenclature, 5 groups are distinguished: artificial (urban) surfaces, agricultural areas, forests and natural areas, wetlands (marshes), water bodies, which are further subdivided into 44 classes. CLC mapping has been carried out for the territory of Latvia several times, starting in 1985 and most recently in 2018 (CLC 2018). In a study on the relationship between nutrients and types of land use, a positive and strong relationship was observed between the presence of water bodies in the catchment and the mean $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration value, while an increase in the proportion of agricultural land in the catchment increases the TN, $\text{NO}_3\text{-N}$, TP and $\text{PO}_4\text{-P}$ concentration values. In the catchment, decreasing forest cover and natural areas lead to increased losses of TN, $\text{NO}_3\text{-N}$, TP and $\text{PO}_4\text{-P}$ and increasing artificial cover in the catchment can contribute to TP and $\text{PO}_4\text{-P}$ losses (Camara, Jamil, and Abdullah 2019; Huang et al. 2013; Siksnane and Lagzdins 2021).

McDowell and Omernik (1977) reported in their study that mean $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations were significantly higher ($2\text{--}6 \text{ mg L}^{-1}$) in catchments with a significant proportion of agricultural land compared to areas with a significant proportion of forest land ($0.1\text{--}0.5 \text{ mg L}^{-1}$).

A crop is a purpose-grown plant on a given area of agricultural land. Selection of agricultural crop and nutrient application are controllable factors affecting $\text{NO}_3\text{-N}$ losses in agricultural runoff (Randall and Mulla 2001; Kyllmar *et al.* 2014). The study concludes that row crops have more significant $\text{NO}_3\text{-N}$ losses than perennial crops (Randall and Mulla 2001), whose roots take up water and nutrients over a longer period of time; this is supported by a study which found that soils processed in autumn (i.e. grown annual crops) are more sensitive to soil and nutrient losses compared to soils grown with perennial crops (Bechmann and Bøe 2021). In a study in Lithuania, Rudzianskaite and Miseviciene (2005) found that at the study sites, $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations in runoff from perennial grassland were 2.4–3.6 times lower than in runoff from arable land. During the summer period, as hydrological activity decreases, $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching also decreases; this $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching dynamic is observed regardless of whether winter or summer crops are sown, as during the period at risk the crops are unable to take up the $\text{NO}_3\text{-N}$ in the soil solution (Lagzdiņš *et al.* 2019; Martinez-Feria *et al.* 2018).

Drainage systems. Latvia's climate is characterised by average rainfall that exceeds evaporation, so the construction and maintenance of drainage systems is particularly important to reduce the impact of adverse weather conditions on land management – the ability to cultivate farmland in a timely manner (ploughing, cultivation, sowing, fertiliser spreading) (Šķiņķis 1986). Drainage lowers the water table, prolonging the filtration path of nutrients into the soil and allowing water to drain quickly from the topsoil thus allowing machinery to move through the fields (Sudārs, Popluga, and Kreišmane 2020). Nitrogen and phosphorus compounds soluble in water ($\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$) are observed in drainage systems, while surface runoff contains increased soil and organic matter particles and concentrations of nitrogen and phosphorus compounds that are not soluble (Ahiablame *et al.* 2011; McDowell and Sharpley 2001; Nguyen and Sukias 2002).

Agronomic factors and number of livestock units in the catchment contributes to leaching of nutrients in agricultural runoff (Gupta *et al.* 2004; Howarth 2008; Quinn 2004; Sileika *et al.* 2005; Tumas 2000). The main objective of fertilisation is to ensure optimum crop yields, as a lack of nutrients can reduce yields, while a surplus can contribute to the loss of nutrients to agricultural runoff (Lal and Kimble 1997). Rudzianskaite and Miseviciene (2005) reported in their study that there is a significant effect of fertiliser application rate on leached $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations in agricultural runoff: increased fertiliser application rate contributes to $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching in agricultural runoff.

In order to limit $\text{NO}_3\text{-N}$ to agricultural runoff, the Nitrates Directive sets a maximum permissible NO_3 concentration limit of 50 mg L^{-1} NO_3 (converted to

11.3 mg L⁻¹ NO₃-N) (Agriculture and Natural Resources University of California 2012; EU Nitrates Directive 1991).

In the framework of the thesis, a detailed analysis of agrohydrological factors was carried out based on the natural and anthropogenic factors identified in the literature analysis that significantly affect the quality of agricultural runoff, as well as taking into account available geospatial information and monitoring data.

2. MATERIALS AND METHODS

This chapter briefly describes the origin of meteorological and hydrological observation data of the diffuse pollution monitoring sites used in the study, the objects of the study, the statistical and geospatial information analysis methods applied in the analysis of the qualitative composition of agricultural runoff.

2.1. Description of the study objects

To characterize the water quality data, the study uses data from diffuse pollution monitoring sites:

- long-term data from the agricultural runoff monitoring programme implemented by the Department of Environmental Engineering and Water Management, Latvia University of Life Sciences and Technologies (Berze, Mellupite, Vienziemite monitoring sites). The implementation of the monitoring of agricultural runoff is determined by the Environmental Policy Guidelines 2021–2027 and the Environmental Monitoring Programme 2021–2026, Chapter 2 “Water Monitoring Programme”, developed on its basis (Vides politikas pamatlīdznieks 2021);
 - data obtained in the implementation of the project “Implementation of river basin management plans of Latvia towards good surface water status” (LIFE GoodWater IP, LIFE18 IPE/LV/000014) (the catchments of G264 Age, L118 Auce, V046 Eda and V093 Slocene).

In order to describe the meteorological conditions in the study period from 1961 to 2021, meteorological observation data of the SLLC “Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre” (monitoring stations Dobele, Saldus and Zosēni) were used.

For the diffuse pollution monitoring sites for which data have been collected in the framework of the implementation of the agricultural runoff monitoring programme, data have been collected at the level of small catchment and drainage field since 1995 and at the level of the Berze River since 2005, while the data collected under the LIFE GoodWater IP project for the monitoring sites of G264 Age and V093 Slocene were collected from May 2020 to October 2021

and for the monitoring sites of L118 Auce and V046 Eda from March 2021 to December 2021.

Water samples are collected and analysed in a systematic and regular manner that ensures the availability of continuous and uninterrupted data series. The analysis of the chemical composition of water samples for the determination of TN, NO₃-N, NH₄-N, TP and PO₄-P concentrations in water samples is carried out in an accredited laboratory.

Diffuse pollution monitoring sites are located in different regions of Latvia and their locations are shown in Figure 2.1.

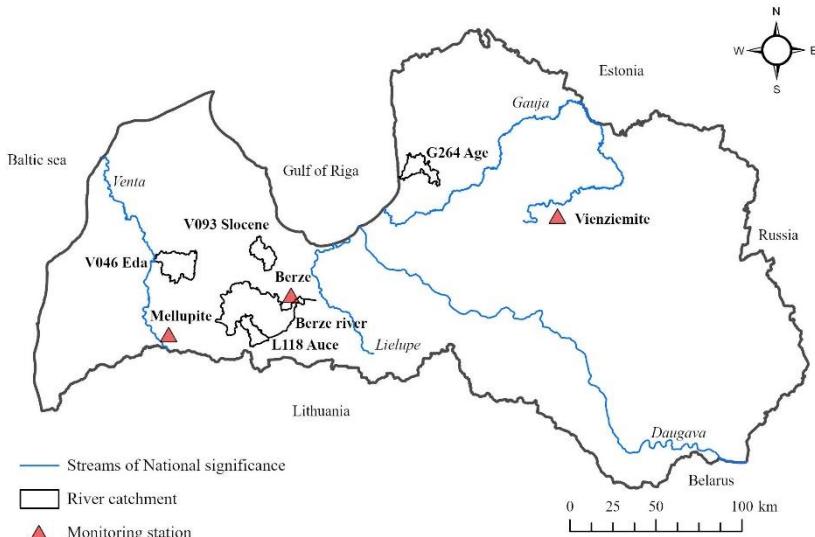


Figure 2.1. Location of diffuse pollution monitoring sites in Latvia

2.1.1. Monitoring sites for agricultural runoff

There are three levels of research on diffuse agricultural pollution: river, small catchment and drainage field (drainage field, small catchment and river study levels of the Berze monitoring site, drainage field and small catchment levels of the Mellupite and Vienziemite monitoring stations, G264 Age, L118 Auce, V046 Eda and V093 Slocene River catchment study levels).

The **Berze River** (hydrometric station Berze–Balozi) is a tributary of the Svēte River, which flows into the catchment of the Lielupe River, and is located in central Latvia, in the Zemgale plain of the Central Latvia lowland. As part of the monitoring of agricultural runoff in the catchment of the Berze River, water samples are collected at 15 sampling points, and accordingly, the area of the catchment of the Berze River is divided into 15 sub-basins. The sub-basins of the

Berze River have been selected based on various criteria such as land use, location of tributaries, available road infrastructure for monitoring. The level of study of the river (sub-basins) of the monitoring site is shown in Figure 2.2.

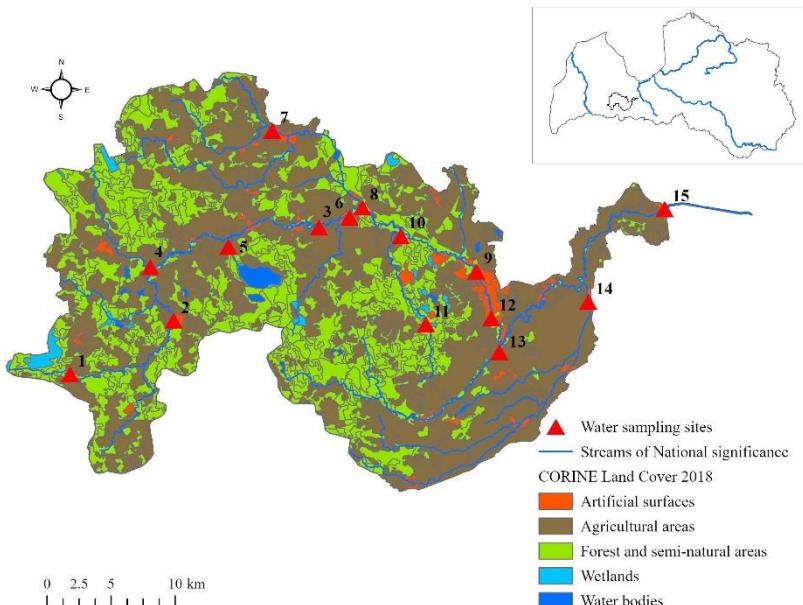


Figure 2.2. Study level of the Berze River

The **Berze monitoring site (station)**, which consists of drainage field and small catchment level, is located approximately 10 km away from the hydrometric station Berze–Balozi. The area of the catchment of the Berze drainage field study level is 0.78 km^2 , while the small catchment area is 3.75 km^2 . The study level of the drainage field and small catchment of the monitoring site is shown in Figure 2.3.

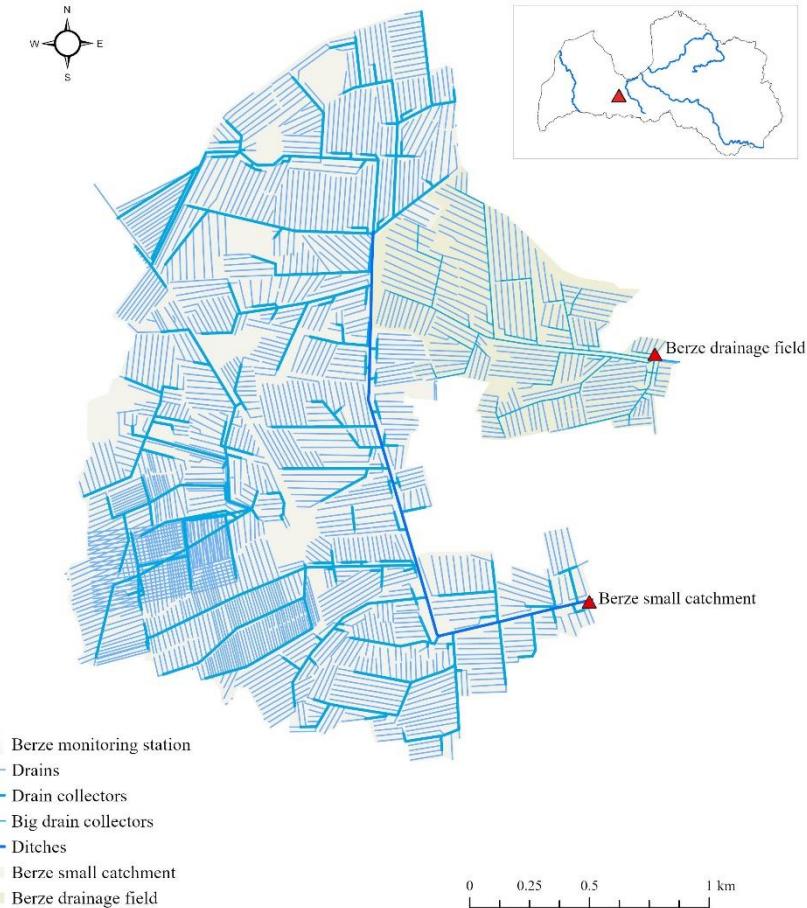


Figure 2.3. Berze monitoring site

The **Mellupite monitoring site (station)** consisting of drainage field and small catchment level is located in the western part of Latvia (Saldus County), in the Vadakste plain of the Central Latvia lowland (Latvijas fizikālī ģeogrāfiskā karte 2018). The area of the catchment of the Mellupite drainage field study level is 0.14 km^2 , while the small catchment area is 9.76 km^2 .

The **Vienziemite monitoring site (station)**, which includes drainage field and small catchment level, is located in the north-eastern part of Latvia (Cesis County), in the Piebalga Hills of the Vidzeme highlands (Latvijas fizikālī ģeogrāfiskā karte 2018). The area of the catchment of the Vienziemite drainage field study level is 0.65 km^2 , while the small catchment area is 5.89 km^2 .

G264 Age (river level) flows out of Lake Age and is part of the catchment of the Gauja River. It is located in north-eastern Latvia. The monitoring site G264 Age consists of 14 water sampling sites with catchment areas of 0.04–183.6 km².

L118 Auce (river level) is a tributary of the Svēte River; it flows out of Lake Lielauce, belongs to the Lielupe River basin, and is located in the central part of Latvia. The monitoring site L118 Auce consists of 15 water sampling sites with catchment areas of 1.0–128.5 km².

V046 Eda (river level) is a tributary of the right bank of the Venta River, is part of the Venta River basin and is located in the western part of Latvia. The monitoring site V046 Eda consists of 13 water sampling sites with catchment areas of 9.1–300.9 km².

V093 Slocene (river level) is part of the Venta River basin, located in the western part of Latvia. The monitoring site V093 Slocene consists of 15 water sampling sites with catchment areas of 0.2–149.9 km².

2.2. Choice and characteristics of data processing methods used in the study

The analysis of air temperature, atmospheric precipitation and runoff is carried out using data collection and systematisation, descriptive statistical analysis, parameter correlation. The analysis of concentrations and losses of nutrients (TN, NO₃-N, NH₄-N, TP and PO₄-P) uses data compilation and systematisation, descriptive statistical analysis, correlation and regression analysis, threshold assessment, analysis of geospatial data, the Mann-Kendall test for trend assessment, and multivariate regression analysis.

Correlation and linear regression analysis was performed using *MS Excel* functions. The correlation analysis using the Pearson's correlation coefficient is used to determine the association between two datasets (Microsoft 2021); the study assumes that a strong association is characterised by a correlation coefficient value above 0.7, moderately strong by $0.5 < r > 0.7$, and weak by a value below 0.5.

The linear regression analysis, described by a linear regression equation and a coefficient of determination (R^2), is used to determine the association function between two data series.

The **data conformity to the normal distribution** was evaluated using the *IBM SPSS Statistics* 22 function: Kolmogorov-Smirnov test, and it was concluded that at the study levels of the drainage fields and small catchments of Berze, Mellupite and Vienziemite, the values of runoff (mm), TN, NO₃-N, NH₄-N, TP, PO₄-P concentrations (mg L⁻¹) and losses (kg ha⁻¹) do not follow a normal distribution, therefore, the non-parametric Mann-Kendall test was used to predict trends in surface water quality.

To assess trends in surface water quality a modified Mann-Kendall (MK) test was used (Libiseller and Grimvall 2002). The MK test is a non-

parametric test that examines whether the data have an increasing or decreasing trend or are randomly distributed over time (Curiac and Micea 2023). MK test values are calculated using the macro program *MULTMK/PARTMK* developed and adapted for MS Excel by C. Libiseller and A. Grimvall (2002), which includes not only the effects of seasonal variation but also the effects of anthropogenic and natural variation.

Multivariate regression analysis is used to study a wide range of hydrological and meteorological data (Dimitriadou and Nikolakopoulos 2022; Holder 1985; Patel et al. 2016). The analysis was carried out to show the cumulative effect of agrohydrological factors on changes in the result attribute (nutrient concentrations) over the study period. The multivariate regression analysis was performed using the multivariate regression program function of *IBM SPSS Statistics 22 (Linear regression)* for carrying out regression analysis. The result attributes included in the multivariate regression analysis are the concentrations of TN, NO₃-N, NH₄-N, TP and PO₄-P. The factorial attributes included in the regression analysis were selected on the basis of natural and anthropogenic factors identified in the literature analysis as having a significant impact on the quality of agricultural runoff taking into account the availability of data and the need for the factors to be uncorrelated. Factorial attributes are mean air temperature, mean annual precipitation, proportion of drained area, mean land surface slope, proportion of land use type, proportion of soil texture type and mean number of livestock units per sub-basin. Regression analysis was carried out for the Berze River study level – 15 sub-basins. To obtain a statistically reliable result, the factorial attributes with the lowest statistic significance were progressively excluded until all factorial attributes used in the regression analysis have a significance level within the 95% confidence interval and are considered statistically reliable (Kafle 2019). The results are expressed as a regression equation:

$$y_{(n,p)} = \beta_0 + (\beta_1 \times x_1)(\beta_2 \times x_2) \dots (\beta_n \times x_n) \quad (2.1),$$

where

y	– result attribute, mg L ⁻¹ ;
n	– number of factorial attributes in the equation, pcs;
p	– degree of confidence, without unit of measurement;
β_0	– factor of the result attribute (free term), without unit of measurement;
$\beta_1, \beta_2, \beta_n$	– coefficients of factorial attributes, without unit of measurement;
x_1, x_2, x_n	– factorial attributes, unit of measurement depends on the attribute.

Water quality assessment is carried out according to the catchment type of the monitoring sites. According to the annexes of the river basin management plans 2016–2021 for the Lielupe, Venta and Gauja river basins, the water bodies of the Berze River belong to river types 3 and 4, while the catchments of the

monitoring sites G264 Age, L118 Auce, V046 Eda and V093 Slocene belong to river type 3 (Upju baseinu apgabalu apsaimniekošanas plāni 2021). In order to compare the runoff quality at the drainage field and small catchment study levels, in this study it is assumed that the catchments of the monitoring sites of Berze, Mellupite and Vienziemite correspond to river type 2. The quality indicator classes are indicated by colours: high quality is blue, good quality is green, medium quality is yellow, poor quality is orange and very poor quality is red. Table 2.1 shows the limit values for the physicochemical quality classes for types 2 and 3.

Table 2.1. Threshold values for physicochemical indicator quality classes for river types

Indicator	Type	High	Good	Medium	Poor	Very poor
TN, mg L ⁻¹	2	<1.5	1.5–2.5	2.5–3.5	3.5–4.5	>4.5
NH ₄ -N, mg L ⁻¹		<0.1	0.1–0.16	0.16–0.24	0.24–0.32	>0.32
TP, mg L ⁻¹		<0.045	0.045–0.090	0.090–0.135	0.135–0.180	>0.180
TN, mg L ⁻¹	3	<1.8	1.8–2.3	2.3–2.8	2.8–3.3	>3.3
NH ₄ -N, mg L ⁻¹		<0.09	0.09–0.12	0.12–0.15	0.15–0.18	>0.18
TP, mg L ⁻¹		<0.05	0.05–0.075	0.075–0.100	0.100–0.125	>0.125

The maximum permissible limit value for mean NO₃-N concentrations is derived from the NO₃ concentration (11.3 mg L⁻¹ NO₃-N) set in the Nitrates Directive (Agriculture and Natural Resources University of California 2012; EU Nitrates Directive 1991). There are no regulated limit values for PO₄-P concentrations for water quality assessment in Latvia.

Geospatial information data analysis was used to assess the impact of the soil texture, land use distribution, proportion of crops, number of animal units, drainage systems. Data processing was performed using the *ArcGIS Pro 2.6.0* software. Geospatial data are available for the territory of Latvia, so to reduce the amount of data, they have been cut out for the catchment area of the Berze River (*Clip* function). In order to estimate the proportion of each of the above types of factors in the sub-basin, the *ArcGIS Pro 2.6.0* software is used to recalculate the areas and obtain a series of actual areas. The obtained data are processed in *MS Excel*, and scatter plots are created to display the data.

To assess the impact of land surface slope, data from the Department of Environmental Engineering and Water Management, Latvia University of Life Sciences and Technologies, on the average land surface slope (%) in the sub-

basin areas of the Berze River, derived from the digital elevation model (LGIA 2023) and compiled in *MS Excel*, were used.

To assess the impact of the application of mineral fertiliser containing nitrogen, the drain field study level of the Mellupite monitoring station was selected. Data on nitrogen fertiliser (pure substance) application rate, TN losses and loss rates during the study period (1995–2021) were evaluated.

3. RESULTS AND DISCUSSION

This chapter describes the results of the study, characterizing the current situation at diffuse pollution monitoring sites, analyses data on natural and anthropogenic factors that significantly affect the quality of agricultural runoff, and data on water chemistry (TN, NO₃-N, NH₄-N, TP and PO₄-P concentrations and losses) taking into account the available geospatial information and monitoring data. The chapter includes an assessment of the threshold values for the physico-chemical indicator quality classes, descriptive statistics analysis, parameter correlation, the Mann-Kendall test for trend assessment, analysis of geospatial data, and multivariate regression analysis.

3.1. Description of the water chemistry at the monitoring sites

Water quality in the Berze, Mellupite and Vienziemite drainage field and catchment study levels is assessed using long-term data on annual mean concentrations of TN, NO₃-N, NH₄-N, TP un PO₄-P over the study period (1995–2021) and assuming that the catchments are of river type 2. The main results are summarised in Tables 3.1 and 3.2.

Table 3.1. Percentage distribution of annual mean TN concentrations in quality classes at the drainage field and catchment study levels of the Berze, Mellupite and Vienziemite monitoring stations, 1995–2021

Study level	Monitoring station	Quality class				
		High, %	Good, %	Medium, %	Poor, %	Very poor, %
Drainage field study level	Berze	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	Mellupite	0.0	0	0.0	3.7	96.3
	Vienziemite	59.3	40.7	0.0	0.0	0.0
Catchment study level	Berze	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	Mellupite	0.0	14.8	18.5	37	29.7
	Vienziemite	29.6	66.7	3.7	0.0	0.0

Comparing the catchment and drainage field study levels of the Mellupite and Vienziemite monitoring sites, TN concentrations are lower at the catchment study level and the water quality class is consequently higher; this can be explained by the different distribution of runoff volumes at the study levels of the

monitoring sites. Comparing the three monitoring stations at the two study levels, it can be concluded that the water quality is the highest at the Vienziemite drainage field study level, which can be explained by the extensive agricultural production conditions in the contributing area, where permanent grass is grown on agricultural land.

Table 3.2. Percentage distribution of annual mean TP concentrations in quality classes at the drainage field and catchment study levels of the Berze, Mellupite and Vienziemite monitoring stations, 1995–2021

Study level	Monitoring station	Quality class				
		High, %	Good, %	Medium, %	Poor, %	Very poor, %
Drainage field study level	Berze	18.5	70.4	11.1	0.0	0.0
	Mellupite	40.7	44.5	7.4	3.7	3.7
	Vienziemite	81.5	18.5	0.0	0.0	0.0
Catchment study level	Berze	3.7	14.8	33.3	33.4	14.8
	Mellupite	29.6	48.2	14.8	3.7	3.7
	Vienziemite	74.1	14.8	7.4	3.7	0.0

In general, TP concentrations from drained agricultural land are considered to be low, as indicated by the high percentages of values for high and good water quality except at the study level of the small catchment of the Berze site. Studies have shown that during heavy rainfall and snowmelt, clay particles can leach out of clay soils together with bound phosphorus and contribute to TP losses (Eriksson et al. 2013; Øygarden, Kværner, and Jenssen 1997; Ulén, Stenberg, and Wessström 2016), accordingly, the mean TP concentrations at the study level of the small catchment of the Berze site are due to the high proportion of clay soils in the catchment.

The monitoring site V093 Slocene has been selected as an example for the characterisation of water quality at the river level. The results are presented as a block diagram showing the flow direction of the river and the 15 water sampling sites, as well as the mean concentrations of TN, NH₄-N, TP and NO₃-N (Figure 3.1). The colour coded markings in the block diagram correspond to the physico-chemical quality classes; V093 Slocene catchments belongs to river type 3.

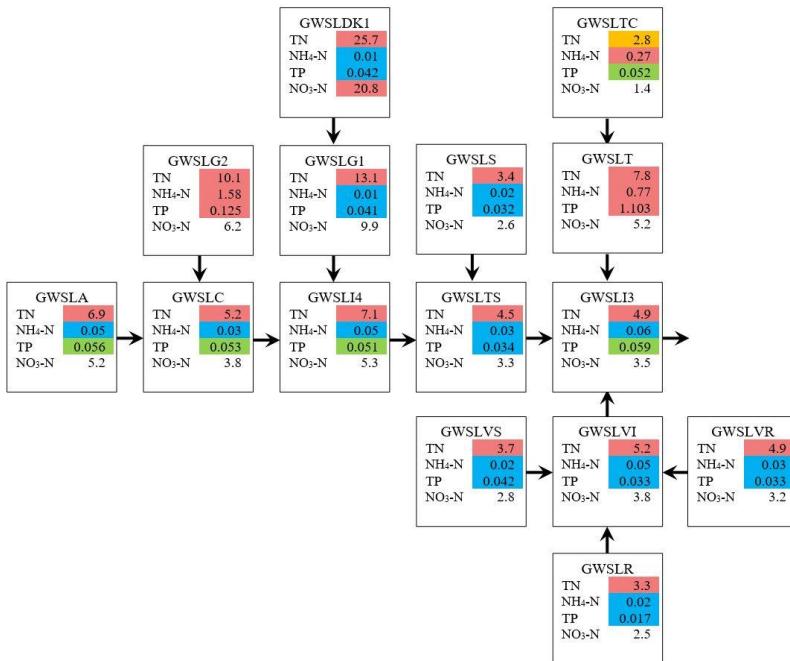


Figure 3.1. Mean values of concentrations of TN, NH₄-N, TP and NO₃-N at monitoring site V093 Slocene for the period from May 2020 to October 2021, mg L⁻¹

All sub-basins of the monitoring site V093 Slocene have TN concentrations in the poor or very poor quality class during the study period. The mean TP concentrations for the 13 sub-basins are in the high or good water quality class with the exception of two sub-basins, GWSLG2, GWSLT, which are in the poor water quality class (except NO₃-N concentration values). The mean NO₃-N concentration limit value of 9.5 mg L⁻¹ is exceeded in basin GWSLDK1 where the water sample is collected from a drainage collector, which is in line with the literature on the impact of drainage systems on leaching of nutrients (Randall and Mulla 2001).

The impact of agricultural activities is strongly observed at water sampling sites GWSLG2, GWSLG1 and GWSLDK1, which have the highest mean TN concentrations and a high proportion of agricultural land in their catchments.

The results of the analyses of water samples collected upstream (GWSLTC) and downstream (GWSLT) of the Tume Village indicate a negative

impact of the village on the water quality in the Tume Stream as the mean concentrations of TN, NH₄-N and TP in the water downstream the village increase significantly, which may indicate incomplete treatment of municipal or industrial wastewater in the Tume Village or discharge of wastewater from decentralised sewerage systems located in the Tume Village into the Tume Stream.

In order to assess **long-term trends** in runoff (mm) as well as concentrations (mg L⁻¹) and losses (kg ha⁻¹) of TN, NO₃-N, TP and PO₄-P, the Mann-Kendall (MK) test was performed for the drain field and catchment study levels of the monitoring stations of Berze, Mellupite and Vienziemite. The calculated MK test values (MK-stat) are summarised in Tables 3.3 and 3.4.

Table 3.3. MK test values for runoff (mm), TN and NO₃-N concentrations (mg L⁻¹) and losses (kg ha⁻¹) at the drainage field and catchment study level of the monitoring stations of Berze, Mellupite and Vienziemite, 1995–2021

Study level	Monitoring station	Indicator				
		MK-stat, runoff, mm	MK-stat, TN, mg L ⁻¹	MK-stat, NO ₃ -N, mg L ⁻¹	MK-stat, TN, kg ha ⁻¹	MK-stat, NO ₃ -N, kg ha ⁻¹
Drainage field study level	Berze	(+) 0.055	(-) 1.372	(-) 1.210	(-) 0.512	(-) 0.506
	Mellupite	(-) 0.046	(+) 1.904	(+) 2.199*	(+) 0.473	(+) 0.682
	Vienziemite	(+) 1.854	(-) 4.338*	(-) 4.058*	(+) 0.545	(-) 0.341
Catchment study level	Berze	(-) 0.779	(+) 0.546	(+) 0.984	(-) 0.807	(-) 0.226
	Mellupite	(-) 1.215	(+) 2.614*	(+) 2.933*	(+) 0.901	(+) 1.818
	Vienziemite	(+) 0.604	(-) 2.171*	(-) 0.845	(-) 0.004	(+) 0.088

* - statistically reliable, p < 0.05.

There are regional differences in trends of runoff. When assessing the losses of TN and NO₃-N at the Berze monitoring station, there is a decreasing trend at the drainage field and catchment study level, in contrast to an increasing trend at the drainage field and catchment study level at the Mellupite monitoring station. Meanwhile, different trends are observed at the drainage field and catchment levels of the Vienziemite monitoring station (at the drainage field level, TN concentrations tend to increase and NO₃-N concentrations tend to decrease, and at the catchment level, TN concentrations tend to increase and NO₃-N concentrations tend to decrease) indicating the influence of different factors on TN and NO₃-N losses.

Table 3.4. MK test values for TP and PO₄-P concentrations (mg L⁻¹) and losses (kg ha⁻¹) at the drainage field and catchment study level of the monitoring stations of Berze, Mellupite and Vienziemite, 1995–2021

Study level	Monitoring station	Indicator			
		MK-stat, TP, mg L ⁻¹	MK-stat, PO ₄ -P, mg L ⁻¹	MK-stat, TP, kg ha ⁻¹	MK-stat, PO ₄ -P, kg ha ⁻¹
Drainage field study level	Berze	(-) 1.893	(-) 0.686	(-) 0.606	(-) 0.327
	Mellupite	(-) 2.329*	(-) 0.774	(-) 1.338	(-) 0.383
	Vienziemite	(-) 2.243*	(-) 1.714	(+) 0.865	(+) 1.168
Catchment study level	Berze	(-) 3.887*	(-) 2.902*	(-) 2.550*	(-) 1.182
	Mellupite	(-) 1.112	(+) 0.473	(-) 2.661*	(-) 0.499
	Vienziemite	(-) 2.665*	(-) 2.735*	(-) 1.017	(-) 0.992

* - statistically reliable, p < 0.05.

All monitoring sites show a decreasing trend in TP concentrations, with 4 out of 6 sites showing statistically reliable values. Similar trends can be observed in PO₄-P concentrations, with the exception of the Mellupite catchment the study level, where PO₄-P concentrations tend to increase.

The low number of statistically reliable MK test results is due to the seasonal and annual distribution of runoff at the monitoring sites. Although the results of the MK test show that the trends are different and there are cases where the concentrations and losses of TN, NO₃-N, TP and PO₄-P in runoff are decreasing, the results summarised in Tables 3.3 and 3.4 cover the whole study period (1995–2021), and it may be necessary in future studies to perform the MK test for different study periods where changes in legislation have taken place or international regulations have been introduced to characterise the trends in more detail.

3.2. Effect of natural factors on leaching of nitrogen and phosphorus compounds

Sub-chapter 3.2 assesses the effect of natural factors on nutrient concentrations at the agricultural runoff monitoring sites.

The **variability of air temperature and precipitation** during the study period at the monitoring sites of Berze, Mellupite and Vienziemite confirms the conclusions of the LEGMC about the increase in average air temperature and decrease in average precipitation in the territory of Latvia, which are indicative of climate variability (LVGMC 2021).

Relation of annual mean runoff to precipitation for Berze drainage field and catchment study levels is shown in Figure 3.2. The relationships between annual mean precipitation (mm) and annual mean runoff (mm) for the period 1995–2021 are assessed using scatter plots; a scatter plot and a linear regression equation are used to describe the degree of relationships.

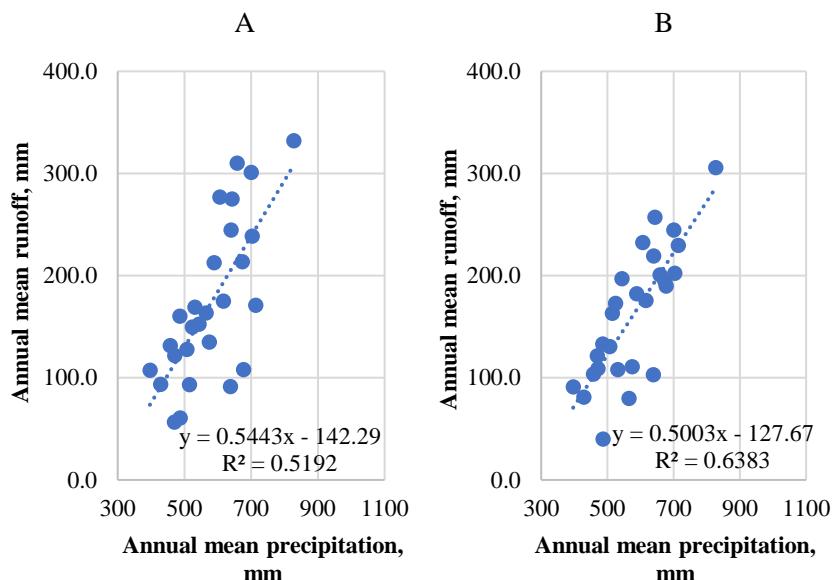


Figure 3.2. Relationship between annual mean runoff (mm) and annual mean P (mm) at the drainage field (A) and catchment (B) study level of the Berze monitoring station, 1995–2021

When assessing the interactions between runoff and precipitation at the drainage field and catchment study levels of the Berze, Mellupite and Vienziemite monitoring sites, increased precipitation contributes to increased runoff at both the drainage field and catchment study levels, which is consistent with the literature review (Øygarden et al. 2014; Randall and Mulla 2001); seasonality of atmospheric deposition is also important.

The **relationship between TN losses and runoff** is illustrated at Berze drainage field (Figure 3.3) and catchment (Figure 3.4) study levels.

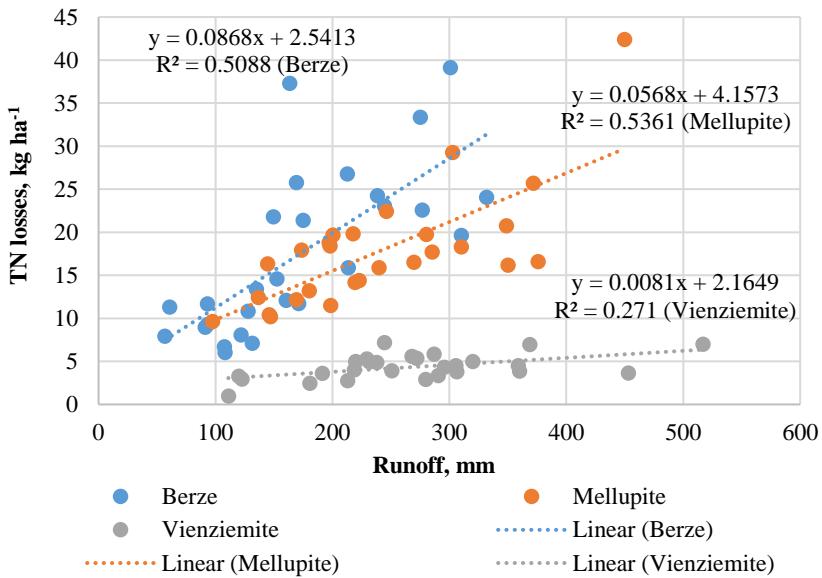


Figure 3.3. Relationship between TN losses (kg ha^{-1}) and runoff (mm) at the drainage field study level of Berze, Mellupite and Vienziemite monitoring stations, 1995–2021

The plant nutrient loss values are calculated by summing the daily average flow times the daily average concentration of the nutrient in the water sample. At the drain field study level (Figure 3.3), runoff volume explains the loss of TN with R^2 values of 0.51 for Berze, 0.54 for Mellupite and 0.27 Vienziemite monitoring stations ($p<0.001$), suggesting that other factors also influence the losses of nutrients.

At the drainage field study level, runoff volume explains the TP losses with R^2 values of 0.59 for Berze, 0.24 for Mellupite and 0.10 for Vienziemite monitoring stations ($p<0.001$). Compared to the dispersion of TN losses, TP losses have a smaller range of values at the drainage field study level.

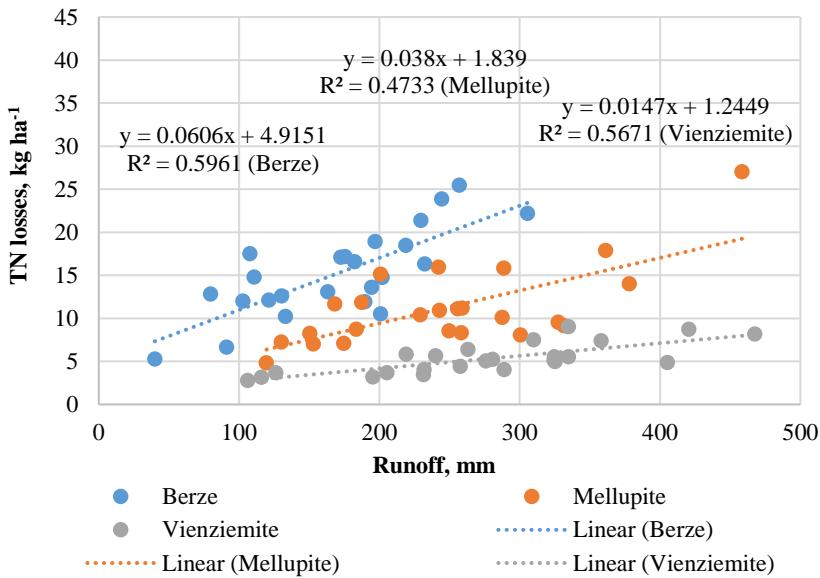


Figure 3.4. Relationship between TN losses (kg ha^{-1}) and runoff (mm) at the catchment field study level of Berze, Mellupite and Vienziemite monitoring stations, 1995–2021

At the catchment study level (Figure 3.4), runoff volume explains the TN losses with R^2 values of 0.60 for Berze, 0.47 for Mellupite and 0.57 for Vienziemite monitoring stations ($p<0.001$). The small catchment study level has a lower dispersion of values compared to the drainage field study level, which can be explained by the fact that at the drainage field study level, TN loss rate changes react strongly to increases in runoff (Povilaitis et al. 2015).

At the catchment field study level, runoff volume explains the TP losses with R^2 values of 0.53 for Berze, 0.20 for Mellupite and 0.02 for Vienziemite monitoring stations ($p<0.001$). In general, the TP loss values at the drainage field study level have a lower dispersion than at the catchment study level, due to the influence of surface runoff at the small catchment study level, which is not pronounced at the drainage field study level.

The **effect of land surface slope** was assessed by determining the average effect of land surface slope at the Berze River study level (for 15 sub-basins of the Berze River) on nutrient concentrations. Mean values of TN, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, TP and $\text{PO}_4\text{-P}$ concentrations in the sub-basins of the Berze River and the proportion of agricultural land are explained by R^2 of 0.17, 0.16, 0.14, 0.24, 0.19 ($p<0.001$). Although the coefficients of determination are low, the observed trend confirms the literature that steeper slopes have lower concentrations of TN,

$\text{NO}_3\text{-N}$ because water infiltration is inhibited and surface runoff is generated (Jakab et al. 2017), while the results on the relationship of TP and $\text{PO}_4\text{-P}$ concentrations with land surface slope contradict the literature that surface runoff can lead to soil erosion and leaching (Lagzdiniš et al. 2019; Quinton, Catt, and Hess 2001). When assessing the effect of land surface slope on nutrient concentrations, it can be concluded that the results at the catchment level (sub-basins of the Berze River) do not provide a complete picture of the effect of land surface slope on the quality of agricultural runoff, and therefore more in-depth investigation of the data at other study levels is needed.

The **influence of soil properties** was assessed by determining the proportion of types of soil texture in the sub-basins of the Berze River (Berze River study level) and their interactions with TN, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, TP and $\text{PO}_4\text{-P}$ concentration values. The main results are summarised in Figures 3.5 and 3.6.

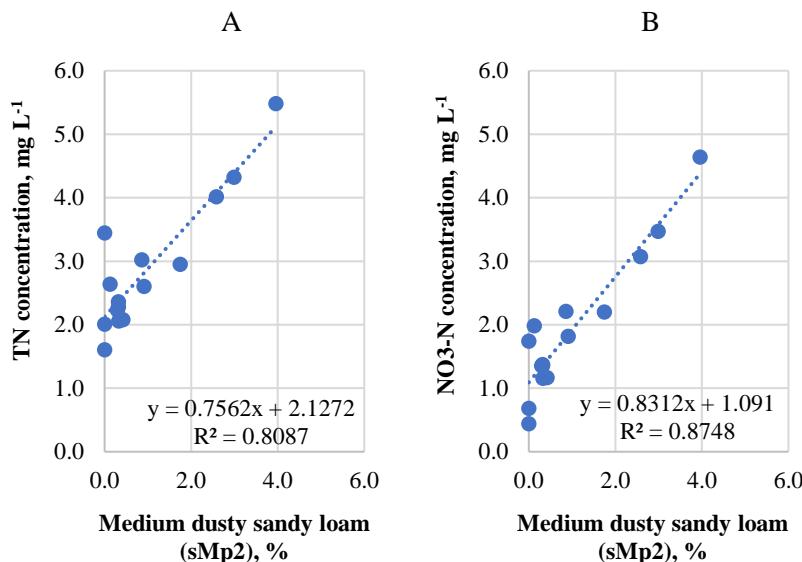


Figure 3.5. Relationship of TN (A) and $\text{NO}_3\text{-N}$ (B) (mg L^{-1}) to the proportion (%) of medium dusty sandy loam (sMp2) at the Berze River study level, 2005–2021

The values of the annual mean TN and $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations in Berze River sub-basins are explained by medium dusty sandy loam (sMp2) with R^2 of 0.81 and 0.87 ($p < 0.001$).

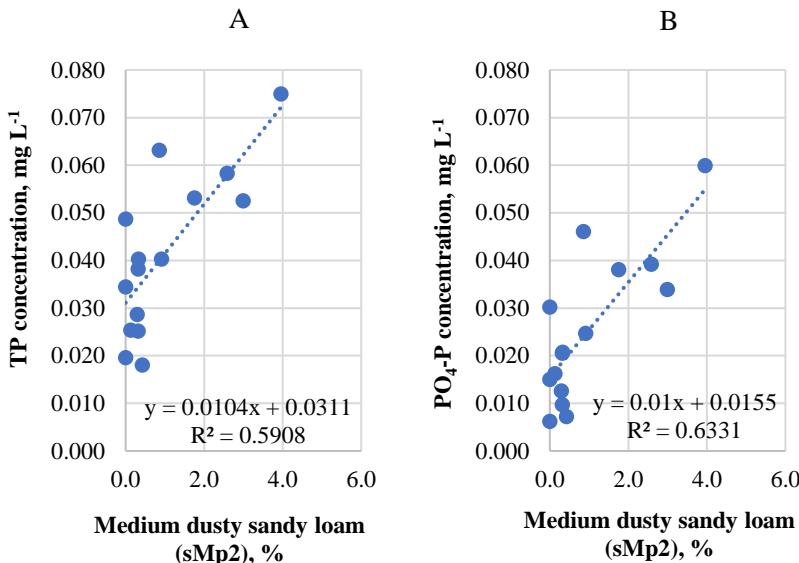


Figure 3.6. Relationship of TP (A) and PO₄-P (B) (mg L⁻¹) to the proportion (%) of medium dusty sandy loam (sMp2) at the Berze River study level, 2005–2021

The annual mean values of TP and PO₄-N concentrations in Berze River sub-basins are explained by medium dusty sandy loam (sMp2) with R² of 0.59 and 0.63 (p<0.001). There is a wide range of values for effect indicators for the proportion of gravel (Gr), loose sand (iS), heavy and medium clay (M1), clayey gravel (mGr), loamy sand (mS), dusty loamy sand (mSp), heavy sandy loam (sM2), medium sandy loam (sM2), light sandy loam (sM3), heavy dusty sandy loam (sMp1), light dusty loam (sMp3), cohesive sand (sS), peat (T), well decomposed peat (l), medium decomposed peat (vd), poorly decomposed peat (vj) on the annual mean values of TN, NO₃-N, NH₄-N, TP and PO₄-P concentrations (R² values ranging from 0.00 to 0.42 (p<0.001)).

3.3. Effect of anthropogenic factors on leaching of nitrogen and phosphorus compounds

Sub-chapter 3.3 assesses the effect of anthropogenic factors on nutrient concentrations in the agricultural runoff monitoring sites.

The **effect of the proportion of land-use type distribution** is assessed for the Berze River study level (for the sub-basins of the Berze River). To characterise the effect of the proportion of land use type in the catchment on plant nutrient concentration values, CLC 2018 data were analysed. The most

significant effects of land-use type distribution on TN, NO₃-N, TP and PO₄-P concentration values at the Berze River study level are shown in Figures 3.7 and 3.8.

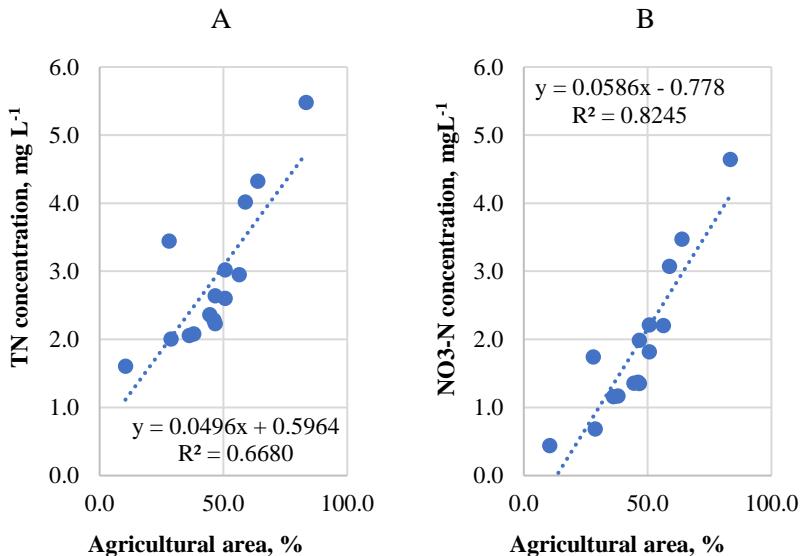


Figure 3.7. Relationship of TN (A) and NO₃-N (B) (mg L⁻¹) to the proportion (%) of agricultural lands at the Berze River study level, 2005-2021

Mean values of TN and NO₃-N concentrations in the sub-basins of the Berze River are explained by the proportion of agricultural land with R² of 0.67 and 0.82 ($p<0.001$). The correlation coefficient between TN and NO₃-N concentration values and the proportion of agricultural land in the catchment is 0.82 and 0.91 ($p<0.001$); it can be concluded that as the proportion of agricultural land in the catchment increases, TN and NO₃-N concentrations in runoff will increase, which is in agreement with the literature (Huang et al. 2013; McDowell et al. 2001). Conversely, when looking at the relationship of TN and NO₃-N concentration values to the proportion of forest and natural areas, TN and NO₃-N concentrations in runoff will decrease (correlation coefficient -0.76 and -0.85 ($p<0.001$)). Runoff from agricultural areas is characterised by a high proportion of NO₃-N, which explains the closer degree of correlation between mean NO₃-N concentrations and the proportion of agricultural land in the catchment.

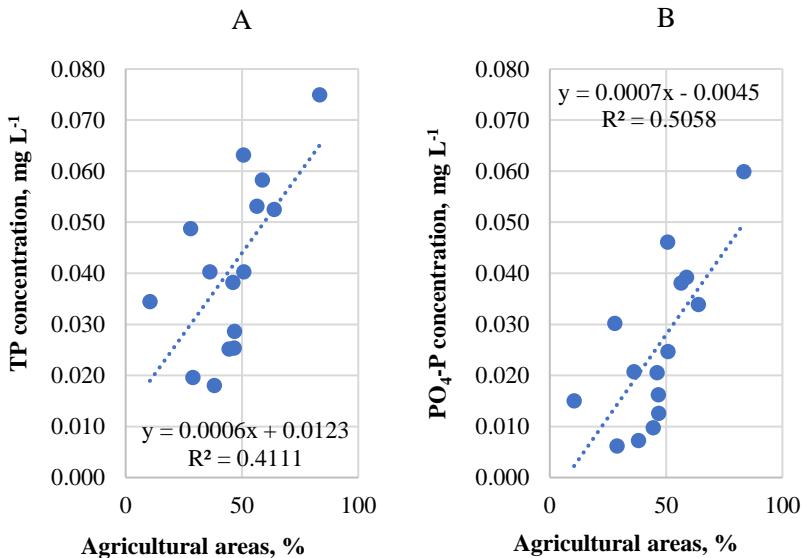


Figure 3.8. Relationship of TP (A) and PO₄-P (B) (mg L⁻¹) to the proportion (%) of agricultural lands at the Berze River study level, 2005–2021

Mean values of TP and PO₄-P concentrations in the sub-basins of the Berze River and the proportion of agricultural land are explained by R² of 0.37 and 0.48 (0.001). The correlation coefficient between TP and PO₄-P concentration values and the proportion of agricultural land in the catchment is 0.61 and 0.69 ($p<0.001$); it can be concluded that as the proportion of agricultural land in the catchment increases, TP and PO₄-P concentrations in runoff will increase, which is in agreement with the literature (McDowell and Sharpley 2001). Conversely, when looking at the relationship of the concentration values to the proportion of forest and natural areas, TP and PO₄-P concentrations in runoff will decrease (correlation coefficient -0.60 and -0.68 ($p<0.001$)).

The effect of land use type on nutrient concentrations suggests that the proportion of agricultural land should be considered when planning measures to improve water quality in the catchment.

Effects of crop proportion in the catchment have been assessed for the Berze River study level (15 sub-basins of the Berze River). The effect of the relationship of nutrient concentrations to crop proportion in the sub-basins of the Berze River shows a wide range of values (R² values between 0.00 and 0.42 ($p<0.001$)). Mean values of TN and NO₃-N concentrations in the sub-basins of the Berze River are explained by the proportion of winter rape with R² of 0.33 and 0.40 ($p<0.001$). Meanwhile, mean values of TP and PO₄-P concentrations in

the sub-basins of the Berze River are explained by the proportion of winter wheat with R^2 of 0.28 and 0.35 ($p<0.001$).

The annual mean values of TN, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, TP and $\text{PO}_4\text{-P}$ concentrations are explained by spring wheat, spring rape, field beans, arable land, permanent grassland and maize with R^2 ranging from 0.00 to 0.27.

The effect of drainage systems has been assessed by evaluating the effect of the proportion of drained areas in the sub-basins of the Berze River (Berze River study level) on nutrient concentrations.

Annual mean values of TN, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, TP and $\text{PO}_4\text{-P}$ concentrations in the sub-basins of the Berze River are explained by the proportion of drained areas with R^2 of 0.27, 0.39, 0.07, 0.24 and 0.27 ($p<0.001$). When assessing the effect of drainage systems on nutrient concentrations, it can be concluded that, although the coefficient of determination is relatively low, the proportion of drained areas in the catchment tends to increase with increasing proportion of soluble forms of nitrogen and phosphorus compounds ($\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$), so the proportion of drained areas should be taken into account when assessing factors affecting nutrient losses in the catchment.

The assessment of the impact of the application of mineral fertiliser containing nitrogen was carried out for the Mellupite drainage field. During the study period, there is a marked variation between the amount of nitrogen applied and TN losses and their percentage. When assessing the losses of the amount of nitrogen applied and TN for the 1995–2021 period, the average fertiliser application rate is 159.4 kg ha^{-1} , TN losses are 17.8 kg ha^{-1} , and, accordingly, the average losses in the runoff amount to 13.4% of the applied fertiliser.

Effects of the number of animal units in the catchment have been assessed for the Berze River study level (sub-basins of the Berze River). Evaluating the effect of the number of animal units on the values of TN, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, TP and $\text{PO}_4\text{-P}$ concentrations, it was found that the number of animal units explain the values of plant nutrient concentrations by R^2 of 0.04, 0.01, 0.01, 0.16, 0.19 ($p<0.001$). When assessing the effect of the number of animal units in the catchment on plant nutrient concentrations, it can be concluded that the results at the catchment level (sub-basins of the Berze River) do not provide a complete picture of the effect of the number of animal units on the quality of agricultural runoff, and therefore in-depth studies are needed.

3.4. Mutual effect of natural and anthropogenic factors on leaching of nitrogen and phosphorus compounds

In order to assess the cumulative effect of natural and anthropogenic agrohydrological factors on the mean nutrient concentrations (TN, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, TP and $\text{PO}_4\text{-P}$ concentrations) in the study period, a multivariate regression analysis was performed for the Berze River study level (sub-basins of the Berze River).

The results of the multivariate regression analysis are shown in equations 3.1 to 3.5.

$$TN_{(4,0.95)} = 2.89 + (-0.84 sl) (0.04 \times CLC_{maks}) (0.09 \times CLC_{uo}) (0.44 \times GS_m) \quad (3.1)$$

where

TN	– result attribute, mg L ⁻¹ ;
sl	– average slope of the ground surface in the sub-basin, %;
CLC_{maks}	– type of land use: proportion of artificial (urban) surfaces in the sub-basin, %;
CLC_{uo}	– type of land use: proportion of water bodies in the sub-basin, %;
GS_m	– soil granulometric composition: proportion of clayey soils in the sub-basin, %.

During the study period, at the Berze River study level the mean values of TN concentrations (Equation 3.1) are statistically significantly increased by the proportion of clay soils in the sub-basin, proportion of water bodies and artificial (urban) surfaces in the sub-basin, are reduced by the average land surface slope in the sub-basin, but are not statistically significantly affected by the mean air temperature, mean annual precipitation, proportion of drained areas in the sub-basin, proportion of agricultural areas in the sub-basin, proportion of forests and natural areas in the sub-basin, proportion of wetlands (marshes) in the sub-basin, proportion of gravel in the sub-basin, proportion of sandy soils in the sub-basin, proportion of loamy sand soils in the sub-basin, proportion of sandy loam soils in the sub-basin, proportion of bog (peat) soils in the sub-basin, the average number of animal units in the sub-basin over the study period. The coefficient of determination for the regression equation is 0.86.

$$NO_3N_{(7,0.95)} = -5.99 + (-0.68 sl) (0.03 \times CLC_{maks}) (0.07 \times CLC_{uo}) (0.30 \times GS_{gr}) (0.43 \times GS_m) (0.12 \times GS_{ms}) (0.09 \times GS_{sm}) \quad (3.2)$$

where

NO_3N	– result attribute, mg L ⁻¹ ;
sl	– average slope of the ground surface in the sub-basin, %;
CLC_{maks}	– type of land use: proportion of artificial (urban) surfaces in the sub-basin, %;
CLC_{uo}	– type of land use: proportion of water bodies in the sub-basin, %;
GS_{gr}	– soil granulometric composition: proportion of gravel in the sub-basin, %.
GS_m	– soil granulometric composition: proportion of clayey soils in the sub-basin, %;

- GS_{ms} – soil granulometric composition: proportion of loamy sand soils in the sub-basin, %.
- GS_{sm} – soil granulometric composition: proportion of sandy loam soils in the sub-basin, %.

During the study period, at the Berze River study level the mean values of $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations are increased by the proportion of clay soils, gravel, loamy sand and sandy loam soils in the sub-basin, proportion of water bodies and artificial (urban) surfaces in the sub-basin, are reduced by the land surface slope in the sub-basin, but are not statistically significantly affected by the mean air temperature, mean annual precipitation, proportion of drained areas in the sub-basin, proportion of agricultural areas in the sub-basin, proportion of forests and natural areas in the sub-basin, proportion of wetlands (marshes) in the sub-basin, proportion of sandy soils in the sub-basin, proportion of bog (peat) soils in the sub-basin, the average number of animal units in the sub-basin over the study period. The coefficient of determination for the regression equation is 0.97.

$$\begin{aligned} \text{NH}_4\text{N}_{(5,0.95)} = & 0.151 + (-0.047 \text{ } sl) (0.004 \times CLC_{maks}) \\ & (0.016 \times \times CLC_{uo})(0.001 \times CLC_m)(-0.005 \times GS_{ms}) \end{aligned} \quad (3.3)$$

where

- NH_4N – result attribute, mg L^{-1} ;
- sl – average slope of the ground surface in the sub-basin, %;
- CLC_{maks} – type of land use: proportion of artificial (urban) surfaces in the sub-basin, %;
- CLC_{uo} – type of land use: proportion of water bodies in the sub-basin, %;
- CLC_m – type of land use: proportion of forests and natural areas in the sub-basin, %;
- GS_{ms} – soil granulometric composition: proportion of loamy sand soils in the sub-basin, %.

During the study period, at the Berze River study level the mean values of $\text{NH}_4\text{-N}$ concentrations are increased by the proportion of water bodies, artificial (urban) surfaces, forests and natural areas in the sub-basin, are reduced by the land surface slope in the sub-basin, as well as the proportion of loamy sand soils in the sub-basin, but are not statistically significantly affected by the mean air temperature, mean annual precipitation, proportion of drained areas in the sub-basin, proportion of agricultural areas in the sub-basin, proportion of wetlands (marshes) in the sub-basin, proportion of gravel in the sub-basin, proportion of clay soils in the sub-basin, proportion of sandy soils in the sub-basin, proportion of sandy loam in the sub-basin, proportion of bog (peat) soils in the sub-basin, the average number of animal units in the sub-basin over the study period. The coefficient of determination for the regression equation is 0.93.

$$TP_{(7,0.95)} = -0.087 + (-0.120 sl) (0.001 \times CLC_{maks}) \\ (0.002 \times CLC_{mz}) (0.002 \times CLC_{uo})(0.005 \times GS_m)(0.002 \times \\ \times GS_{sm})(0.001 \times Dzv) \quad (3.4)$$

where

- TP – result attribute, mg L⁻¹;
- sl – average slope of the ground surface in the sub-basin, %;
- CLC_{maks} – type of land use: proportion of artificial (urban) surfaces in the sub-basin, %;
- CLC_{mz} – type of land use: proportion of wetlands (marshes) in the sub-basin, %;
- CLC_{uo} – type of land use: proportion of water bodies in the sub-basin, %;
- GS_m – soil granulometric composition: proportion of clayey soils in the sub-basin, %;
- GS_{sm} – soil granulometric composition: proportion of sandy loam soils in the sub-basin, %;
- Dzv – average number of animal units in the sub-basin, pcs.

During the study period, at the Berze River study level the mean values of TP concentrations are increased by the proportion of clay and sandy loam soils in the sub-basin, proportion of water bodies, wetlands (marshes), artificial (urban) surfaces in the sub-basin, the average number of animal units in the sub-basin, are reduced by the land surface slope in the sub-basin, but are not statistically significantly affected by the mean air temperature, mean annual precipitation, proportion of drained areas in the sub-basin, proportion of agricultural areas in the sub-basin, proportion of forests and natural areas in the sub-basin, proportion of gravel in the sub-basin, proportion of sandy soils in the sub-basin, proportion of loamy sand soils in the sub-basin, proportion of bog (peat) soils in the sub-basin. The coefficient of determination for the regression equation is 0.94.

$$PO_4P_{(7,0.95)} = -0.071 + (-0.010 sl) (0.001 \times CLC_{maks}) \\ (0.001 \times CLC_{mz}) (0.002 \times CLC_{uo})(0.005 \times GS_m)(0.001 \times \\ \times GS_{sm})(0.001 \times Dzv) \quad (3.5)$$

where

- PO_4P – result attribute, mg L⁻¹;
- sl – average slope of the ground surface in the sub-basin, %;
- CLC_{maks} – type of land use: proportion of artificial (urban) surfaces in the sub-basin, %;
- CLC_{mz} – type of land use: proportion of wetlands (marshes) in the sub-basin, %;
- CLC_{uo} – type of land use: proportion of water bodies in the sub-basin, %;
- GS_m – soil granulometric composition: proportion of clayey soils in the sub-basin, %;
- GS_{sm} – soil granulometric composition: proportion of sandy loam soils in the sub-basin, %;
- Dzv – average number of animal units in the sub-basin, pcs.

During the study period, at the Berze River study level the mean values of PO₄-P concentrations are increased by the proportion of clay soils in the sub-basin, proportion of water bodies, artificial (urban) surfaces, wetlands (marshes) in the sub-basin, proportion of sandy loam soils in the sub-basin and the average number of animal units in the sub-basin, are reduced by the land surface slope in the sub-basin, but are not statistically significantly affected by the mean air temperature, mean annual precipitation, proportion of drained areas in the sub-basin, proportion of agricultural areas in the sub-basin, proportion of forests and natural areas in the sub-basin, proportion of gravel in the sub-basin, proportion of sandy soils in the sub-basin, proportion of loamy sand soils in the sub-basin, proportion of bog (peat) soils in the sub-basin. The coefficient of determination for the regression equation is 0.95.

The regression equations for the mean concentrations of TN, NO₃-N, NH₄-N, TP and PO₄-P for the Berze River study level (Berze River sub-basins) over the study period show that, in interaction with other factors, nutrient concentrations are statistically significantly reduced by the average slope of the land surface in the sub-basin and are statistically significantly increased by the proportion of artificial (urban) surfaces in the sub-basin, as well as the number of waterbodies in the sub-basin. In summary, when considering the factors that interact to influence the mean values of TN, NO₃-N, NH₄-N, TP and PO₄-P concentrations, it is necessary to pay more attention to the type of land use in the catchment, the granulometric composition of the soil (especially the proportion of clay, loamy sand and sandy loam soils) and the average number of animal units in the sub-basin when planning water quality improvement measures.

The study describes the natural and anthropogenic factors influencing the quality of agricultural runoff (concentrations of TN, NO₃-N, NH₄-N, TP and PO₄-P) during the study period and accordingly provides insight into the direction of actions needed to improve the quality of runoff. In the study, for the drainage field and catchment study levels of the monitoring stations Berze, Mellupite and Vienziemite, as well as for the study levels of the Berze River (sub-basins of the Berze River) of G264 Age, L118 Auce, V046 Eda, V093 Slocene, the annual mean runoff and the values of TN, NO₃-N, NH₄-N, TP and PO₄-P concentrations and losses were used for the purpose of calculations. In order to provide suggestions on the necessary measures to improve the quality of agricultural runoff, further studies are needed that look at data not only of annual averages, but also at a more detailed level (monthly, seasonal).

CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS

1. Natural and anthropogenic factors that can influence nutrient losses from diffuse and point sources affected by agricultural activities include atmospheric precipitation, air temperature, runoff, soil type (soil granulometric composition, soil infiltration coefficient, soil organic matter content, soil water storage capacity, soil organic matter mineralisation, erosion), topography (land surface slope, landscape features), type of land use (area of agricultural land in the catchment), proportion of arable land, type of crop, agricultural practices (type and timing of soil treatment, timing and rates of nitrogen and phosphorus fertiliser application, timing and method of manure application, choice of manure storage, failure to assess nutrient content of manure, crop rotation, livestock density), drainage systems, buffer strips, climate change.
2. At the drainage field and catchment study level, the influence of annual mean precipitation on annual mean runoff is considered to be moderate, with coefficients of determination between 0.44 and 0.64 for the linear regression equations for both attributes. The results show that runoff is influenced not only by average annual precipitation, but also by other factors such as seasonality of precipitation, air temperature, soil texture and crop.
3. Increasing runoff volume at the drainage field study level compared to the small catchment study level contributes more strongly to the increase in TN losses, and consequently TN losses at the drainage study level are more sensitive to runoff variability; in contrast, TP loss values at the drainage field study level have less dispersion than at the catchment study level suggesting that at the small catchment study level the influence of surface runoff generation on TP losses should be taken into account, in addition to drainage runoff.
4. The most significant natural factor contributing to the annual mean values of TN, NO₃-N, TP and PO₄-P concentrations at river study level is the proportion of medium dusty sandy loam (sMp2) in the catchment, while the most significant factor contributing to the mean values of NH₄-N concentrations is the proportion of cohesive sand (sS) in the catchment. The effects, which are statistically less significant, are characteristic to the proportion of other soil types in the catchment and the slope of the land surface.
5. The most significant anthropogenic factor increasing the annual mean values of TN, NO₃-N and PO₄-P at the river study level is the proportion of agricultural land in the catchment, the most significant factor increasing the annual mean values of NH₄-N concentrations is the proportion of water bodies in the catchment, and the most significant factor increasing the annual mean values of TP concentrations is the proportion of fallow land in the catchment. The effects, which are statistically less significant, are characteristic to the proportion of other land uses, the proportion of crops, as well as the proportion of drained areas and the number of livestock units in the catchment.

6. The concentrations of nutrients (TN, NO₃-N, NH₄-N, TP and PO₄-P) at the river study level are statistically significantly correlated with the following natural and anthropogenic factors, which need to be taken into account when assessing and planning measures to reduce nutrients from agricultural land:

6.1. the average TN concentration values are increased by the proportion of clay soils in the sub-basin, water bodies and artificial (urban) surfaces in the sub-basin;

6.2. the average values of NO₃-N concentrations are increased by the proportion of clay soils, gravel, loamy sand soils, sandy loam soils in the sub-basin and the proportion of water bodies and artificial (urban) surfaces in the sub-basin;

6.3. the average values of NH₄-N concentrations are increased by the proportion of water bodies, artificial (urban) surfaces, forests and natural areas in the sub-basin and are reduced by the proportion of loamy sand soils in the sub-basin;

6.4. the average values of TP concentrations are increased by the proportion of clay and sandy loam soils in the sub-basin, water bodies, wetlands (marshes), artificial (urban) surfaces in the sub-basin, the average number of animal units in the sub-basin;

6.5. the average values of PO₄-P concentrations are increased by the proportion of clay soils in the sub-basin, proportion of artificial (urban) surfaces, wetlands (marshes) in the sub-basin, proportion of sandy loam in the sub-basin and the average number of animal units in the sub-basin;

6.6. the mean values of TN, NO₃-N, TP and PO₄-P concentrations are reduced by the average slope of the land surface in the sub-basin.

7. In addition to characterising the influence of natural and anthropogenic factors on water quality during the study period, predicting the factors influencing nutrient leaching requires studies at a wider geographical scale including additional study sites at drainage field, small catchment and river levels, as well as studies of monitoring results and geospatial information at monthly and seasonal scales.

8. The results on the effect of agrohydrological factors on the quality of agricultural runoff can be used to develop suggestions for soil and water management measures in agricultural lands, river basin management plans, as well as recommendations for implementation of the Nitrates Directive (91/676/EEC) and the Water Framework Directive (2000/60/EC) to meet the water quality objectives in Latvia.

INFORMĀCIJAS AVOTU BIBLIOGRĀFISKAIS SARAKSTS / SOURCES OF BIBLIOGRAPHY

1. Abid, M. and Rattan L. 2009. "Tillage and Drainage Impact on Soil Quality: II. Tensile Strength of Aggregates, Moisture Retention and Water Infiltration". *Soil and Tillage Research* 103(2):364–72. doi: 10.1016/j.still.2008.11.004.
2. Absalon, D., and Matysik, M. 2007. "Changes in Water Quality and Runoff in the Upper Oder River Basin". *Geomorphology* 92(3-4):106-18. doi: 10.1016/j.geomorph.2006.07.035.
3. Agriculture and Natural Resources University of California. 2012. "Nitrate to Nitrogen Conversion and Estimating N Contribution from Irrigation Waters Containing Nitrate". Retrieved: April 19, 2023 (<https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=7744>).
4. Ahiablame, L. M., Chaubey, I., Smith, D. R., and Engel, B. A. 2011. "Effect of Tile Effluent on Nutrient Concentration and Retention Efficiency in Agricultural Drainage Ditches". *Agricultural Water Management* 98(8):1271–79. doi: 10.1016/j.agwat.2011.03.002.
5. Akoglu, H. 2018. "User's Guide to Correlation Coefficients". *Turkish Journal of Emergency Medicine* 18(3):91–93. doi: 10.1016/j.tjem.2018.08.001.
6. Andersen, H.E., Blicher-Mathiesen, G., Bechmann, M., Povilaitis, A., Ital, A., Lagzdins, A. and Kyllmar K. 2014. "Reprint of 'Mitigating Diffuse Nitrogen Losses in the Nordic-Baltic Countries'". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 198:127–34. doi: 10.1016/j.agee.2014.05.023.
7. Baltic Sea. 2021. European Commision. Retrieved: November 2, 2021 (https://ec.europa.eu/oceans-and-fisheries/ocean/sea-basins/baltic-sea_en).
8. Bechmann, M.E. and Bøe F. 2021. "Soil Tillage and Crop Growth Effects on Surface and Subsurface Runoff, Loss of Soil, Phosphorus and Nitrogen in a Cold Climate". *Land* 10(1):1–15. doi: 10.3390/land10010077.
9. Bender, F.E., Douglass, L.W. and Kramer, A. 2020. "Correlation Analysis". *Statistical Methods for Food and Agriculture* 44(12):222–32. doi: 10.1201/9781003073116-14.
10. Bušmanis, P. 1999. Labas Lauksaimniecības Prakses Nosacījumi Latvijā.
11. Camara, M., Jamil, N.R. and Abdullah, A.F.B. 2019. "Impact of Land Uses on Water Quality in Malaysia: A Review". *Ecological Processes* 8(1). doi: 10.1186/s13717-019-0164-x.
12. Clark, G.M., Mueller, D.K. and Mast, M.A. 2000. Nutrient Concentrations and Yields in Undeveloped Stream Basins of the United States.
13. Deelstra, J., Øygarden, L., Blankenberg, A.G.B. and Eggestad, H.O. 2011. "Climate Change and Runoff from Agricultural Catchments in Norway". *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 3(4):345–60. doi: 10.1108/17568691111175641.
14. EEA. 2018. European Waters Assessment of Status and Pressures 2018.

Retrieved: April 26, 2022 (<https://www.eea.europa.eu/publications/state-of-water>).

15. Eiropas Revīzijas Palāta. 2016. "Baltijas Jūras Eitrofikācijas Apkaršana: Vajadzīga Efektīvāka Turpmākā Rīcība". Retrieved: April 26, 2022 (https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR16_03/SR_BALTIC_LV.pdf).

16. Eriksson, A. K., Ulén, B., Berzina, L., Iital, A., Jansons, V., Sileika, A. S. and Toomsoo, A. 2013. "Phosphorus in Agricultural Soils around the Baltic Sea - Comparison of Laboratory Methods as Indices for Phosphorus Leaching to Waters". *Soil Use and Management* 29(SUPPL.1):5–14. doi: 10.1111/j.1475-2743.2012.00402.

17. EU Nitrates Directive. 1991. Council Directive of 12 December 1991 Concerning the Protection of Waters against Pollution Caused by Nitrates from Agricultural Sources (91/676/EEC). Retrieved: November 3, 2021 (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1561542776070&uri=CELEX:01991L0676-20081211>).

18. EU Water Framework Directive. 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. Retrieved: November 3, 2021 (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>).

19. European Commision Report. 2019. European Commision. Report from the Commision to the European Parliament and the Council *Implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC) and the Floods Directive (2007/60/EC) Second River Basin Management Plans First Flood Risk Management Plans (2019)*. Retrieved: November 3, 2021 (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=SWD:2019:30:FIN&qid=1551267381862&from=EN>).

20. European Commission. 2019. REPORT FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL AND THE EUROPEAN PARLIAMENT on the Implementation of Council Directive 91/676/EEC Concerning the Protection of Waters against Pollution Caused by Nitrates from Agricultural Sources Based on Member State Reports Fo. Retrieved: February 18, 2022 (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2021%3A1000%3AFIN&qid=1633953687154>).

21. Frost, J. 2019. "How to Interpret P-Values and Coefficients in Regression Analysis". Retrieved: November 23, 2022 (<https://statisticsbyjim.com/regression/interpret-coefficients-p-values-regression/>).

22. Grote, U., Craswell, E., and Vlek, P. 2005. "Nutrient Flows in International Trade: Ecology and Policy Issues". *Environmental Science and Policy* 8(5):439–51. doi: 10.1016/j.envsci.2005.05.001.

23. Gupta, S., Munyankusi E., Moncrief, J., Zvomuya, F. and Hanewall, M. 2004. Tillage and Manure Application Effects on Mineral Nitrogen Leaching

- from Seasonally Frozen Soils. *J Environ Qual.* 33(4):1238-46. doi: 10.2134/jeq2004.1238. PMID: 15254105.
24. HELCOM. 2007. HELCOM Baltijas Jūras Rīcības Plāns. Retrieved: November 3, 2021 (https://www.varam.gov.lv/sites/varam/files/content/files/lv_helcom_baltjasjurasicabspans.pdf).
25. HELCOM. 2018. “Eutrophication. Supplementary Report. HELCOM Thematic Assessment of Eutrophication 2011-2016. Supplementary Report to the ‘State of the Baltic Sea’ Report”. *Baltic Sea Environment Proceedings* 156:183.
26. HELCOM. 2021. “Baltic Sea Action Plan”. *Helcom Extraordinary Ministerial Meeting:1–101*.
27. Howarth, R.W. 2008. “Coastal Nitrogen Pollution: A Review of Sources and Trends Globally and Regionally”. *Harmful Algae* 8(1):14–20.
28. Huang, J., Zhan, J., Yan H., Wu, F. and Deng, X. 2013. “Evaluation of the Impacts of Land Use on Water Quality: A Case Study in the Chaohu Lake Basin”. *The Scientific World Journal* 2013. doi: 10.1155/2013/329187.
29. Iital, A., Pachel, K., Loigu, E., Pihlak, M. and Leisk, Ü. 2010. “Recent Trends in Nutrient Concentrations in Estonian Rivers as a Response to Large-Scale Changes in Land-Use Intensity and Life-Styles”. *Journal of Environmental Monitoring* 12(1):178–88. doi: 10.1039/b912923e.
30. Jakab, G., Karsai, G., Szalai, Z. and Szabó J. 2017. “Nitrate Loss from Fertilized Crop Fields: Does Slope Steepness Matter”. *Journal of Landscape Ecology* 15(2):77–84.
31. Kafle, S.C. 2019. “Correlation and Regression Analysis Using SPSS”. *OCEM Journal of Management, Technology & Social Sciences* 1.
32. Klimats Latvijā. 2021. Nacionālā Enciklopēdija. Retrieved: December 1, 2021 (<https://enciklopedija.lv/skirkliis/26052-klimats-Latvijā>).
33. Kostianoy, A., Litovchenko K., Lavrova, O., Mityagina, M., Bocharova, T., Lebedev, S., Stanichny, S., Soloviev, D., Sirota, A. and Pichuzhkina, O. 2006. “Operational Satellite Monitoring of Oil Spill Pollution in the Southeastern Baltic Sea: 1.5 Years Experience”. *IEEE US/EU Baltic International Symposium*. doi: 10.1109/BALTIC.2006.7266136.
34. Kyllmar, K., Bechmann, M., Deelstra, J., Iital, A., Blicher-Mathiesen, G., Jansons, V., Koskiaho, J. and Povilaitis, A. 2014. “Long-Term Monitoring of Nutrient Losses from Agricultural Catchments in the Nordic-Baltic Region - A Discussion of Methods, Uncertainties and Future Needs”. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 198:4–12. doi: 10.1016/j.agee.2014.07.005.
35. Lagzdiņš, A., Kļaviņš, U., Sudārs, R., Grinberga, L., Veinbergs, A., Abramenko, A., Andersons, A., Intlers, R., and Strauta, L. 2019. Virszemes Ūdeņu Un Gruntsūdeņu Kvalitātes Pārraudzība īpaši Jutīgajās Teritorijās Un Lauksaimniecības Zemēs Lauksaimniecības Noteču Monitoringa Programmā. Retrieved: February 14, 2022 (https://www.zm.gov.lv/public/ck/files/ZM/lauku_attistiba/zinatne/4.pdf).

36. Lal, R. and J.M. Kimble. 1997. "Conservation Tillage for Carbon Sequestration". *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49(1):243–53. doi: 10.1023/A:1009794514742.
37. Latvijas fizikālī ģeogrāfiskā karte. 2018. Nacionālā Enciklopēdija. Retrieved: March 8, 2022 (<https://enciklopedija.lv/skirklis/26135-Latvijas-vispārīgs-fizikāli-ģeogrāfisks-apraksts>).
38. LGIA. 2023. Digitālais Reljefa Modelis. Retrieved: April 28, 2023 (https://www.lgia.gov.lv/lv/Digitālais_reljefa_modelis).
39. Libiseller, C. and Grimvall, A. 2002. "Performance of Partial Mann-Kendall Tests for Trend Detection in the Presence of Covariates". *Environmetrics* 13(1):71–84.
40. LVGMC. 2014. Klimata Pārmaiņas: Nokrišņu Daudzums. Retrieved: April 19, 2023 (https://www4.meteo.lv/varam/2011/klimata_parmain/klimata_parmain.php).
41. LVGMC. 2021. Latvijas Klimats. Retrieved: February 18, 2022 (<https://videscentrs.lvgmc.lv/lapas/latvijas-klimats>).
42. Martinez-Feria, R.A., Castellano, M.J., Dietzel, R.N., Helmers, M.J., Liebman, M., Huber, I. and Archontoulis, S.V. 2018. Linking Crop- and Soil-Based Approaches to Evaluate System Nitrogen-Use Efficiency and Tradeoffs. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 256:131–143. doi: 10.1016/j.agee.2018.01.002.
43. McDowell, R.W. and Sharpley, A.N. 2001. "Approximating Phosphorus Release from Soils to Surface Runoff and Subsurface Drainage". *Journal of Environmental Quality* 30(2):508–20. doi: 10.2134/jeq2001.302508x.
44. McDowell, R.W., Sharpley, A.N., Condron, L.M., Haygarth, P. M. and Brookes, P.C. 2001. Processes Controlling Soil Phosphorus Release to Runoff and Implications for Agricultural Management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 59:269–284.
45. Merseburger, G.C., Martí, E. and Sabater, F. 2005. "Net Changes in Nutrient Concentrations below a Point Source Input in Two Streams Draining Catchments with Contrasting Land Uses". *Science of the Total Environment* 347(1–3):217–29. doi: 10.1016/j.scitotenv.2004.12.022.
46. Misselbrook, T.H., Pain, B.F., Stone, A.C. and Scholefield, D. 1995. "Nutrient run-off following application of livestock wastes to grassland". *Environmental Pollution* 88:51–56. doi: 10.1016/0269-7491(95)91047-O.
47. Moore, M.T., Kröger, R., Locke, M.A., Cullum, R.F., Steinriede, R.W., Testa, S., Lizotte, R.E., Bryant, C.T. and Cooper, C.M. 2010. "Nutrient Mitigation Capacity in Mississippi Delta, USA Drainage Ditches". *Environmental Pollution* 158(1):175–84. doi: 10.1016/j.envpol.2009.07.024.
48. Nguyen, L. and Sukias J. 2002. "Phosphorus Fractions and Retention in Drainage Ditch Sediments Receiving Surface Runoff and Subsurface Drainage from Agricultural Catchments in the North Island, New Zealand". *Agriculture,*

Ecosystems & Environment 92:49-69.

49. Øygarden, L., Kværner, J. and Jenssen. P.D. 1997. "Soil Erosion via Preferential Flow to Drainage Systems in Clay Soils". *Geoderma* 76(1–2):65–86. doi: 10.1016/S0016-7061(96)00099-7.

50. Øygarden, L., Deelstra, J., Lagzdins, L., Bechmann, M., Greipsland, I., Kyllmar, K., Povilaitis, A. and Iital, A. 2014. "Climate Change and the Potential Effects on Runoff and Nitrogen Losses in the Nordic-Baltic Region". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 198:114–26. doi: 10.1016/j.agee.2014.06.025.

51. Petersen, R.J., Blicher-Mathiesen, G., Rolighed, J., Andersen, H.E. and Kronvang, B. 2021. "Three Decades of Regulation of Agricultural Nitrogen Losses: Experiences from the Danish Agricultural Monitoring Program". *Science of the Total Environment* 787. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147619.

52. Povilaitis, A., Lamsodis, R., Bastiené, N., Rudzianskaitė, A., Misevičienė, S., Miseckaitė, O., Gužys, S., Baigys, G., Grybauskienė, V. and Balevičius, G. 2015. "Agricultural Drainage in Lithuania: A Review of Practices and Environmental Effects". *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science* 65(August):14–29. doi: 10.1080/09064710.2014.971050.

53. Quinn, P. 2004. "Scale Appropriate Modelling: Representing Cause-and-Effect Relationships in Nitrate Pollution at the Catchment Scale for the Purpose of Catchment Scale Planning". *Journal of Hydrology* 291:197–217.

54. Quinton, J.N., Catt, J.A. and Hess, T.M. 2001. "Surface Water Quality The Selective Removal of Phosphorus from Soil: Is Event Size Important". *Journal of Environmental Quality* 30(2):538–45.

55. Randall, G.W. and Mulla, D.J. 2001. "Nitrate Nitrogen in Surface Waters as Influenced by Climatic Conditions Conditions and Agricultural Practices". *J. Environ* 30:337–44.

56. Rogers, P. 2008. "Freshwater Crisis". *Scientific American* 46–53.

57. Siksnane, I. and Lagzdins A. 2021. "Relationships between Land Use and Nitrogen and Phosphorus Concentrations in Berze River Basin". *Engineering for Rural Development* 20(3):417–23. doi: 10.22616/ERDev.2021.20.TF088.

58. Sileika, A.S., Gaigalis, K., Kutra, G. and Smitsiene, A. 2005. "Factors Affecting N and P Losses from Small Catchments (Lithuania)". *Environmental Monitoring and Assessment* 102(1–3):359–74. doi: 10.1007/s10661-005-6033-3.

59. Šķinķis, C. 1986. Augšņu Drenēšana.

60. Sudārs, R., Popluga, D. and Kreišmane, Dz. 2020. "Meliorācijas Sistēmu Uzturēšana". Retrieved: February 21, 2022 (<http://www.llu.lv/sites/default/files/files/lapas/05-Melioracijas-sistemu-uzturesana-180x210.pdf>).

61. Tumas, R. 2000. Evaluation and Prediction of Nonpoint Pollution in Lithuania. *Ecological Engineering* 14:443–451.

62. Tunney, H., Brookes, P.C. and Johnston, A.E. 1997. Phosphorus Loss from Soil to Water.

63. Udawatta, R.P., Motavalli, P.P., Garrett, H.E. and Krstansky, J.J. 2006. “Nitrogen Losses in Runoff from Three Adjacent Agricultural Watersheds with Claypan Soils”. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117(1):39–48. doi: 10.1016/j.agee.2006.03.002.
64. Ulén, B., Stenberg, M. and Wesström, I. 2016. “Use of a Flashiness Index to Predict Phosphorus Losses from Subsurface Drains on a Swedish Farm with Clay Soils”. *Journal of Hydrology* 533(December):581–90. doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.12.044.
65. Upju baseinu apgabalu apsaimniekošanas plāni. 2021. Retrieved: November 1, 2021 (<https://www.meteo.lv/lapas/vide/udens/udens-apsaimniekosana-/upju-baseinuapgabalu-apsaimniekosanas-plani-/upju-baseinu-apgabalu-apsaimniekosanas-plani-un-pludu-riska-parvaldiba?id=1107&nid=424>).
66. VARAM. 2013. Vides Politikas Pamatnostādnes 2013.-2020. gadam (VPP2020) Stratēģiskais Ietekmes Uz Vidi Novērtējums (Projekts). Retrieved: February 2, 2022 (https://www.varam.gov.lv/sites/varam/files/vpp_siivn_030713.doc).
67. Vides politikas pamatnostādnes. 2021. “Vides politikas pamatnostādnes 2021.-2027.gadam.” Retrieved: November 3, 2021 (<https://www.varam.gov.lv/v/media/25691/download>).
68. De Vos, J.A. 2001. Monitoring Nitrate Leaching from Submerged Drains. *J Environ Qual.* 30(3):1092-6. doi: 10.2134/jeq2001.3031092x.
69. WWAP. 2017. “The United Nations World Water Development Report 2017 The Untapped Resource Wastewater World Water Assessment Programme United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.” 12.
70. WWAP. 2018. The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water.
71. WWF. 2011. Ministers Fail to Prioritize the Baltic Sea. Retrieved: February 2, 2022 (https://wwf.panda.org/wwf_news/?199591/Ministers-Failing-to-Prioritize-the-Baltic-Sea).