


Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte  
Latvia University of Life Sciences and Technologies  
Meža un vides zinātņu fakultāte  
Faculty of Forest and Environmental Sciences



*Mg.sc.env., Mg.paed.* Inga Grīnfelde 

**promocijas darbs – tematiski vienotu zinātnisko publikāciju apkopojums**

**KONCEPTUĀLĀ HIDROLOĢISKĀ MODEĻA METQ PILNVEIDE  
URBĀNĀS HIDROLOĢISKĀS ATBILDES VIENĪBAS IZVEIDEI UN  
SEG EMISIJU MODEĻĒŠANAI**

***THE IMPROVEMENT OF THE CONCEPTUAL HYDROLOGICAL  
MODEL METQ WITH THE URBAN HYDROLOGICAL RESPONSE UNIT  
AND GHG EMISSION MODELLING***

**PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS**

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 Meža un ūdens resursu zinātniskajā laboratorijā un Meža un vides zinātņu fakultātes, Ainavu arhitektūras un vides inženierijas institūtā laika posmā no 2009. līdz 2023. gadam.

**Promocijas darba zinātniskais vadītājs:**

**Ph.D. Artūrs Veinbergs**, Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes asociētais profesors

**Dr.geogr. Oskars Purmalis**, Latvijas Universitātes docents

**Oficiālie recenzenti:**

**Edmunds Teirumnieks, Dr.sc.ing.**, Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmijas Inženieru fakultātes profesors, vadošais pētnieks;

**Vilda Grybauskiene, Dr.**, Kaunas Forestry and Environmental Engineering University of Applied Sciences, asociētā profesore;

**Roman Rolbiecki, Ph.D.**, Bydgoszcz University of Science and Technology profesors.

**Promocijas padomes sastāvs:**

**Ainis Lagzdīņš, Dr.sc.ing.**, Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Meža un vides zinātņu fakultātes, Ainavu arhitektūras un vides inženierijas institūta, vadošais pētnieks, promocijas padomes priekšsēdētājs;

**Māris Kļaviņš, Dr.habil.chem.**, Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un zemes zinātņu fakultātes Vides aizsardzības katedras profesors, vadošais pētnieks, promocijas padomes priekšsēdētāja vietnieks;

**Zane Vincēviča-Gaile, Dr.chem.**, Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un zemes zinātņu fakultātes Vides aizsardzības katedras vadošā pētniece;

**Laima Bērziņa, Dr.sc.ing.**, Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Meža un vides zinātņu fakultātes, Ainavu arhitektūras un vides inženierijas institūta, vadošā pētniece;

**Juris Burlakovs, Dr. geogr.**, Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un zemes zinātņu fakultātes Lietišķās vides zinātnes katedras docents, pētnieks;

**Edmunds Teirumnieks, Dr.sc.ing.**, Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmijas Inženieru fakultātes profesors, vadošais pētnieks;

**Linda Grinberga, Ph.D.**, Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes Meža un vides zinātņu fakultātes, Ainavu arhitektūras un vides inženierijas institūta docente, vadošā pētniece, promocijas padomes sekretāre;

**Promocijas darba aizstāvēšana** notiks LBTU vides inženierijas un enerģētikas nozares promocijas padomes atklātā sēdē 2023. gada 1.decembrī Jelgavā, Akadēmijas ielā 19, Meža un vides zinātņu fakultātē, 117. auditorijā.

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

**Atsauksmes sūtīt promocijas padomes sekretārei**, PhD **Lindai Grinbergai** (Akadēmijas ielā 11, LV-3001, Jelgava, Latvija, vai [linda.grinberga@lbtu.lv](mailto:linda.grinberga@lbtu.lv)).

## INFORMATION

**The research was carried out** at the Latvia University of Life Sciences and Technologies, Scientific Laboratory of Forest and Water Resources, Faculty of Forest and Environmental Sciences from year 2009 to 2023.

**Scientific supervisor:**

**Ph.D. Artūrs Veinbergs**, Latvia University of Life Sciences and Technologies

**Dr.geogr. Oskars Purmalis**, University of Latvia

**Official reviewers:**

Edmunds Teirumnieks, Dr.sc.ing., Rezekne Academy of Technologies

Vilda Grybauskiene, Dr., Kaunas Forestry and Environmental Engineering University of Applied Sciences;

Roman Rolbiecki, Ph.D., Bydgoszcz University of Science and Technology.

**Promotion Board:**

Professor, Dr.sc.ing. Ainis Lagzdiņš, chairman;

Professor, Dr.habil.chem. Māris Kļaviņš, vice-chairman;

Assistant professor, Dr.sc.ing. Laima Bērziņa;

Assistant professor, Dr. geogr. Juris Burlakovs;

Professor, Dr.sc.ing. Edmunds Teirumnieks;

Leading researcher, Dr.chem. Zane Vincēviča-Gaile;

Assistant professor, PhD. Kristīne Valujeva;

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 December 1, 2023, at 14:00.

Venue: 19 Akademijas Street, Jelgava, 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, senioru researcher of the Faculty of Forest and Environmental Sciences, Ph.D. Linda Grinberga (19 Akademija street, Jelgava, Latvia, LV-3001, e-mail: [linda.grinberga@lbtu.lv](mailto:linda.grinberga@lbtu.lv)).

# SATURS

PUBLIKĀCIJU SARAKSTS / <i>LIST OF PUBLICATIONS</i> .....	6
AUTORA IEGULDĪJUMS / <i>THE CONTRIBUTION OF THE AUTHOR</i> .....	8
PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA / <i>APPROBATION OF RESEARCH RESULTS</i> .....	9
1.IEVADS.....	25
1.1. Urbāno hidroloģisko procesu un SEG emisiju modelēšanas iespējas Latvijā.....	26
1.2. Promocijas darba mērķis .....	27
1.3. Promocijas darba pētnieciskie uzdevumi .....	28
1.4. Promocijas darbā aizstāvamās tēzes.....	28
1.5. Promocijas darba novitāte .....	28
1.6. Promocijas darba pētījuma uzbūve.....	29
2. MATERIĀLI UN METODEDES.....	30
2.1. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ sagatavošana izmantošanai pētījumā .....	30
2.1.1. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ uzlabojumi .....	32
2.1.2. Pētījuma vajadzībām izveidotā modelēšanas platforma METQUL2012.....	36
2.2. Pētījumā izmantie dati un statistikas metodes .....	38
3.REZULTĀTI UN DISKUSIJA .....	39
3.1. Urbānās hidroloģiskās atbildes vienības integrācija un modeļa aprobācija .....	39
3.2. SEG emisiju no augsnēm modelēšanas iespējas .....	47
3.3. SEG emisiju moduļu integrācijas konceptuālajā hidroloģiskajā modeli METQ turpmākie pētījumu soļi.....	51
4.SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI.....	52
1.INTRODUCTION .....	54
1.1. Possibilities for modelling of urban hydrological processes and GHG emissions in Latvia .....	55
1.2. Aim of the study.....	56
1.3. Study objectives .....	57
1.4. Thesis statements .....	57
1.5. Scientific novelty .....	57
1.6. Structure of study .....	58
2. MATERIALS AND METHODS.....	59
2.1. Preparation of conceptual hydrologic model METQ for study use .....	59
2.1.1. Improvements to the conceptual hydrological model METQ .....	61
2.1.2. Modelling platform METQUL2012 developed for the study .....	65
2.2. Data and statistical methods used in the study .....	66
3. RESULTS AND DISCUSSION.....	68

3.1. Integration of the Urban hydrological response Unit and model aproption .....	68
3.2. Modelling options for GHG emissions from soils .....	76
3.3. Integration of GHG emission modules In the conceptual hydrological model METQ and further research steps .....	80
4. CONCLUSIONS AND PROPOSALS .....	81
IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS / <i>REFERENCES</i> .....	83

## PUBLIKĀCIJU SARAKSTS / LIST OF PUBLICATIONS

Promocijas darbs balstīts uz desmit publikācijām, uz kurām atsaucies tekstā veidotas, izmantojot romiešu ciparus:

*The thesis is based on six publications, referred in the text with Roman numerals:*

- I **Grinfelde, I.**, & Bakute, A. (2017). The Local Parameters Sensitivity of Urban Hydrological Response Unit of Conceptual Hydrological Model METQ. In Raupeliene, A (Ed.), 8th International Scientific Conference Rural Development 2017: Bioeconomy challenges (pp. 599–604). <https://doi.org/10.15544/RD.2017.075> (*indeksēta WoS datubāzē*).
- II **Grinfelde, I.**, & Bakute, A. (2017). Urban Hydrological Response Unit Parameter Calibration and Verification for Conceptual Hydrological Model METQ. In Engineering for Rural Development (Vol. 16, pp. 1117–1122). <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N236> (*indeksēta SCOPUS un WoS datubāzēs*).
- III **Grinfelde, I.**, Bakute, A., Steinberga, K., & Pilecka, J. (2017). The Changes of Lake Hydrological Cycle: A Case Study of Lake Usma in Latvia. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 17, pp. 655–662). <https://doi.org/10.5593/sgem2017/31/S12.082> (*indeksēta SCOPUS un WoS datubāzēs*).
- IV **Grinfelde, I.**, Bakute, A., Pilecka, J., Berzina, L., & Vebere, L. L. (2019). The Impact of Landscape Structure of Catchment area on Lake Hydrology. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 19, pp. 569–576). <https://doi.org/10.5593/sgem2019/3.1/S12.073> (*indeksēta SCOPUS un WoS datubāzēs*).
- V Bakute, A., **Grinfelde, I.**, Pilecka-Ulcugaceva, J., Liepa, S., & Siltumens, K. (2021). The Land Use and Climate Change Impact on Lake Usma Hydrological Regime. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 21, pp. 159–165). <https://doi.org/10.5593/sgem2021V/3.2/s12.24> (*indeksēta SCOPUS un WoS datubāzēs*).
- VI Siltumens, K., **Grinfelde, I.**, Pilecka-Ulcugaceva, J., Vebere, L. L., & Bakute, A. (2021). Hydrological Regime Optimization Model for Sustainable Management of Lake: Case Study of Tasu Lake. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 21, pp. 123–130). <https://doi.org/10.5593/sgem2021/3.1/s12.17> (*indeksēta SCOPUS un WoS datubāzēs*).
- VII **Grinfelde, I.**, Valujeva, K., Zaharane, K., & Berzina, L. (2017). Automated Cavity Ring Down Spectroscopy Usage for Nitrous Oxide Emission Measurements from Soil Using Recirculation System. In Engineering for Rural Development (Vol. 16, pp. 1111–1116).

<https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N235> (*indeksēta SCOPUS un WoS datubāzēs*).

- VIII Valujeva, K., Pilecka, J., Frolova, O., Berzina, L., & **Grinfelde, I.** (2017). Measurement Time Estimation of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> in Closed Chambers and Recirculation System with Picarro G2508 Analyser. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 17, pp. 519–526). <https://doi.org/10.5593/sgem2017/41/S19.066> (*indeksēta SCOPUS un WoS datubāzēs*).
- IX Liepa, S., Butenaite, D., Bakute, A., **Grinfelde, I.**, & Pilecka-Ulcugaceva, J. (2021). Composition of the Isotopes of Nitrous Oxide in the Clay Soil at Different Moisture Conditions. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 21, pp. 59–66). <https://doi.org/10.5593/sgem2021V/4.2/s19.a09> (*indeksēta SCOPUS un WoS datubāzēs*).
- X **Grinfelde, I.**, Pilecka-Ulcugaceva, J., Bakute, A., Berzina, L., & Liepa, S. (2021). The Conceptual Framework of GHG Module Integration in Conceptual Hydrological Model In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 21, pp. 361–368). <https://doi.org/10.5593/sgem2021/4.1/s19.60> (*indeksēta SCOPUS un WoS datubāzēs*).

**AUTORA IEGULDĪJUMS /  
THE CONTRIBUTION OF THE AUTHOR**

<b>Nr.</b>	<b>Ideja / Original idea</b>	<b>Pētījuma plāns / Study design</b>	<b>Datu ievākšana / Data collection</b>	<b>Datu analīze / Data analysis</b>	<b>Manuskripta sagatavošana / Manuscript preparation</b>	<b>Promocijas darba autora ieguldījums % / Contribution of author, %</b>
<b>I</b>	IG	IG	IG	IG, AB	IG, AB	90%
<b>II</b>	IG	IG	IG	IG, AB	IG, AB	90%
<b>III</b>	IG	IG	IG, KŠ	IG	IG, AB, JP	85%
<b>IV</b>	IG	IG, JP	IG, LLV	IG	IG, AB, LB	75%
<b>V</b>	IG	IG, AB	IG	IG	IG, AB	75%
<b>VI</b>	IG	IG, JPU	IG, LLV	IG	IG, AB, KS	75%
<b>VII</b>	IG	IG, KV,	IG, KZ	IG	IG, LB	80%
<b>VIII</b>	IG	IG	IG, KV	IG, KV,	IG, KV, JP, OF, LB	75%
<b>IX</b>	IG	IG, JPU	IG, SL	IG, DB	IG, SL, DB, AB	75%
<b>X.</b>	IG	IG, JPU	IG, SL	IG	IG, AB, LB	90%

**IG**-Inga Grīnfelde; **AB**-Anda Bakute; **JP** un **JPU**-Jovita Pilecka-Uļčugačeva; **KŠ**-Kristīne Šteinberga; **LLV**-Lāsma Lūcija Vēbere; **LB**-Laima Bērziņa; **KS**-Kristaps Siltumēns; **SL**-Sindija Liepa; **KV**-Kristīne Valujeva; **KZ**-Karina Zaharāne; **DB**-Dace Butenaite; **OF**-Olga Frolova (Olga Šķiste)



## **PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA / APPROBATION OF RESEARCH RESULTS**

Promocijas darba pētījumos iegūto rezultātu aprobācijā var izdalīt četrus būtiskus posmus, kas atspoguļo pētījuma nozīmīgumu un konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ turpmākās attīstības perspektīvas. Promocijas darba pētījuma rezultāti un iestrādes ir izmantotas vairākos fundamentālo un lietišķo pētījumu projektos. Par promocijas darba rezultātiem ir sagatavotas un publicētas vairākas publikācijas, kas tieši saistītas ar promocijas darba pētījumu un ir vērstas uz tālāku konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ pilnveidi un izmantošanu SEG emisiju modelēšanā no augsnēm. Ziņojumi konferencēs un diskusijas ļāva identificēt esošās problēmas un veikt precīzāk mērķētus modeļa uzdevumus. Izglītojošais darbs ļauj modeļa izmantošanas iespējas paplašināt un nodot zināšanas topošajiem zinātniekiem un nozares speciālistiem.

*Four major steps can be distinguished in the bracketing of the results of the research studies, reflecting the significance of the study and the prospects for further development of the conceptual hydrologic model METQ. The results and inputs of the study have been used in several fundamental and applied research projects. Several publications have been prepared and published on the results of the research work, directly related to the study work, which focuses on further development and use of the conceptual hydrological model METQ for the modelling of GHG emissions from soils. Reports at conferences and discussions made it possible to identify existing problems and to perform more targeted model tasks. Educational work allows the possibilities of using the model to expand and transfer knowledge to prospective scientists and industry specialists.*

### **Projekti / Projects**

Promocijas darba izstrādes laikā ir ņemta dalība 31 projektā:

*Participation in 31 projects has been taken into account during the development of the research work:*

1. 2016. Climate KIC ES Ietvara programmas projekts; Eksperts
2. 2017. – 2019. Rīgas jūras līča integrēta slāpekļa apsaimniekošanas sistēma ES Kopienas iniciatīvas INTERREG projekts Projekta vadītāja
3. 2017. – 2020. Klimata izmaiņas lauksaimniecībā Starptautiskas organizācijas mērķfinansēts izglītības projekts Eksperte
4. 2018. Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radīto siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju un oglekļa dioksīda (CO<sub>2</sub>) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrāde Pētniecības (zinātnisko izstrāžu) līgumdarbs (pakalpojuma līgums) ar Latvijas vai ārvalstu uzņēmumiem, organizācijām (komersantiem) Pētniece

5. 2018. – 2019. Inovatīva degradēto teritoriju reģenerācija pārrobežu reģionu ilgtspējīgai attīstībai ES Kopienas iniciatīvas INTERREG projekts Pētniece
6. 2018. Meliorācijas ietekmes novērtēšana klimata pārmaiņu (plūdu riska) mazināšanā Valsts pārvaldes iestādes finansēts projekts Pētniece
7. 2018. – 2021. Latvijas Lauksaimniecības universitātes pārvaldības pilnveide (ES28) ES struktūrfondu projekts izglītības programmas direktors
8. 2018. – 2019. Atsevišķu pārvaldes uzdevumu deleģēšanas izpilde Valsts pārvaldes iestādes finansēts projekts Pētniece
9. 2018. SEG gāzu mērījumi LIFE purvu atjaunošanas projektā (tēma L269) Starptautiskās zinātniskās pētniecības projekta vadītāja
10. 2018. Lauksaimniecības sektora siltumnīcefekta gāzu un amonjaka emisiju aprēķina metodiku aktualizācija samazināšanas pasākumu kvantitatīvai novērtēšanai Valsts pārvaldes iestādes finansēts projekts Projekta vadītāja
11. 2018. Gruntsūdens līmeņa mērījumu datu verifikācija un interpretācija kopšanas ciršu izmēģinājumu objektos (L271) Pētniecības (zinātnisko izstrāžu) līgumdarbs (pakalpojuma līgums) ar Latvijas vai ārvalstu uzņēmumiem, organizācijām (komersantiem) Projekta vadītāja
12. 2018. Ineraktīva ūdenssaimniecība ES Kopienas iniciatīvas INTERREG projekts Eksperts
13. 2018. Ziņojums par gaisa piesārņojošo vielu emisiju aprēķināšanu un sagatavošanu no lauksaimniecības sektora par 2017. gadu Valsts pārvaldes iestādes finansēts projekts Pētniece
14. 2018. TAIEX-EIR PEER 2 PEER Eiropas Teritoriālās sadarbības programmas projekts Eksperts
15. 2018. – 2020. Par Svētes upes atvaseļošanas plāna sagatavošanu un ieteikumu izstrādi upes krastu un upes pieguļošo teritoriju apsaimniekošanai Pašvaldības finansēts projekts Projekta vadītāja
16. 2018. Gruntsūdens līmeņa mērījumu datu verifikācija un interpretācija kopšanas ciršu izmēģinājumu objektos Pētniecības (zinātnisko izstrāžu) līgumdarbs (pakalpojuma līgums) ar Latvijas vai ārvalstu uzņēmumiem, organizācijām (komersantiem) Projekta vadītāja
17. 2019. Lēmumu pieņemšanas atbalsta sistēmas izstrāde ziemas kviešu lapu un vārpu slimību ierobežošanai. LAD4 ES struktūrfondu projekts Pētniece
18. 2019. TAIEX Eiropas komisijas kaimiņvalstu un paplašināšanās sarunu tīklojums AGR 67812 Cits Eiropas komisijas u.c. institūciju izglītības projekts Eksperte
19. 2019. – 2022. Augsnes ķīmiskā sastāva ietekme uz SEG emisijām no lauksaimniecībā izmantojamās zemes LLU pētniecības projekts projekta vadītāja
20. 2019. TAIEX Eiropas komisijas kaimiņvalstu un paplašināšanās sarunu tīklojums ETT 67476 Cits Eiropas komisijas u.c. institūciju izglītības projekts Eksperte
21. 2019. TAIEX Eiropas komisijas kaimiņvalstu un paplašināšanās sarunu tīklojums ETT 68655 Cits Eiropas komisijas u.c. institūciju izglītības projekts Eksperte
22. 2020. – 2021. Pārrobežu projekti VBF. tēma INT11 - "Ūdens resursu ilgtspējas veicināšana vietas pievilcības un tūrisma attīstībai Rēzeknes un Ostrovas pārrobežu teritorijās Eiropas Teritoriālās sadarbības programmas projekts pētniece
23. 2021. Meliorācijas ietekmes novērtēšana klimata pārmaiņu (plūdu riska) mazināšanā (S401) Valsts pārvaldes iestādes finansēts projekts pētniece

24. 2021. Lēmumu pieņemšanas atbalsta sistēmas izstrāde ziemas kviešu lapu un vārpu slimību ierobežošanai Valsts pārvaldes iestādes finansēts projekts pētniece
25. 2021. Aramzemes un ilggadīgo zālāju apsaimniekošanas radītās siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas un oglekļa dioksīda (CO<sub>2</sub>) piesaistes uzskaites sistēmas pilnveidošana un atbilstošu metodisko risinājumu izstrādāšana (zinātnisko izstrāžu) līgumdarbs (pakalpojuma līgums) ar Latvijas vai ārvalstu uzņēmumiem, organizācijām (komersantiem) pētniece
26. 2021. – 2022. Hidroloģiskās situācijas monitoringa veikšana par veikto darbību (pārbūves) ietekmi uz hidroloģisko situāciju Valsts nozīmes ūdensnoteku Valgundes 1. vasaras poldera kanālu ŪSIK Jelgavas novadā, un pi Valsts pārvaldes iestādes finansēts projekta vadītāja
27. 2021. – 2022. Jaunāko tehnoloģiju izmantošana nezāļu ierobežošanai laukaugu sējumos integrētajā audzēšanas sistēmā Valsts pārvaldes iestādes finansēts projekts pētniece
28. 2021. – 2023. Klimatu saudzējošas lopkopības sistēmas ES struktūrfondu projekts pētniece
29. 2017. – 2018. Zināšanas Inter-Baltic partnerības apmaiņā par turpmāko reģionālo aprites ekonomikas sadarbību Zviedru institūta finansēts projekts Projekta vadītāja
30. 2018. – 2019. Amonjaka emisiju mērījumu veikšana lauka apstākļos un ziņojuma sagatavošana Komersanta pasūtīts pētījums Projekta vadītāja
31. 2018. – 2019. Baltijas Jūras Reģiona universitāšu tīkla stiprināšana ainavu ilgtspējības un atkritumu apsaimniekošanas jomā Zviedru institūta finansēts projekts Projekta vadītāja

### **Publikācijas, kas indeksētas SCOPUS un/vai WoS datubāzēs / *Publications indexed in SCOPUS and/or WoS databases***

1. Bardule, A., **Grinfelde, I.**, Lazdina, D., Bardulis, A., & Sarkanabols, T. (2017). Macronutrient Leaching in a Fertilized Juvenile Hybrid Aspen (*Populus tremula L.* × *P. tremuloides Michx.*) Plantation Cultivated in an Agroforestry System in Latvia. *Hydrology Research*. <https://doi.org/10.2166/nh.2017.054>
2. Burlakovs, J., Vincevica-Gaile, Z., Krievans, M., Jani, Y., Horttanainen, M., Pehme, K.-M., **Grinfelde, I.**, ... Klavins, M. (2020). Platinum Group Elements in Geosphere and Anthroposphere: Interplay Among the Global Reserves, Urban Ores, Markets and Circular Economy. *Minerals*, 10(6), 1–19. <https://doi.org/10.3390/min10060558>
3. **Grinfelde, I.**, Pilecka-Ulcugaceva, J., Bertins, M., Viksna, A., Rudovica, V., Liepa, S., & Burlakovs, J. (2021). Dataset of Trace Elements Concentrations in Snow Samples Collected in Jelgava City (Latvia) in December 2020. *Data in Brief*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107300>.
4. Jonova, S., Ilgaza, A., **Grinfelde, I.**, & Zolovs, M. (2018). Impact of the Flour of Jerusalem Artichoke on the Production of Methane and Carbon Dioxide and Growth Performance in Calves. *Veterinary World*, 11(11), 1532–1538. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.1532-1538>
5. Rudovica, V., Rotter, A., Gaudêncio, S. P., Novoveská, L., Akgül, F., Akslen-Hoel, L. K., **Grinfelde, I.** ... Burlakovs, J. (2021). Valorization of Marine Waste: Use of Industrial By-Products and Beach Wrack Towards the Production of High Added-

- Value Products. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.723333>
6. Vincevica-gaile, Z., Teppand, T., Kriipsalu, M., Krievans, M., Jani, Y., Klavins, M., **Grinfelde, I.**... Burlakovs, J. (2021). Towards Sustainable Soil Stabilization in Peatlands: Secondary Raw Materials as an Alternative. *Sustainability (Switzerland)*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/su13126726>
  7. Valujeva, K., Pilecka-Ulcugaceva, J., Skiste, O., Liepa, S., Lagzdins, A., & **Grinfelde, I.** (2022). Soil Tillage and Agricultural Crops Affect Greenhouse Gas Emissions from Cambic Calcisol in a Temperate Climate. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 72(1), 835–846. <https://doi.org/10.1080/09064710.2022.2097123>
  8. Burlakovs, J., Jani, Y., Kriipsalu, M., **Grinfelde, I.**, Pilecka, J., & Hogland, W. (2020). Implementation of New Concepts in Waste Management in Tourist Metropolitan areas. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 471)*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/471/1/012017>
  9. Burlakovs, J., Kriipsalu, M., Porshnov, D., Jani, Y., Ozols, V., Pehme, K.-M., **Grinfelde, I.**... Klavins, M. (2019). Gateway of Landfilled Plastic Waste Towards Circular Economy in Europe. *Separations*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/separations6020025>
  10. Eihe, P., Veberē, L. L., **Grinfelde, I.**, Pilecka, J., Sachpazidou, V., & Grinberga, L. (2019). The Effect of Acidification of Pig Slurry Digestate Applied on Winter Rapeseed on the Ammonia Emission Reduction. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 390)*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/390/1/012043>
  11. Lauva, D., **Grinfelde, I.**, Veinbergs, A., Abramenko, K., Vircavs, V., Dimanta, Z., & Vitola, I. (2012). The Impact of Climate Change on the Annual Variation of Shallow Groundwater Levels in Latvia. *Environmental and Climate Technologies*, 8(1), 41–48. <https://doi.org/10.2478/v10145-012-0007-9>
  12. Bakute, A., **Grinfelde, I.**, & Lagzdins, A. (2017). Application of the Model METQ for Hydrological Calculations. In *Research for Rural Development (Vol. 1, pp. 139–144)*. <https://doi.org/10.22616/rrd.23.2017.023>
  13. Berzina, L., Frolova, O., **Grinfelde, I.**, & Valujeva, K. (2017). Greenhouse Gases and Ammonia Emission Evaluation of Conventional and Organic Dairy Farming in Baltic Region. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 17, pp. 449–458)*. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/41/S19.057>
  14. Burlakovs, J., Jani, Y., **Grinfelde, I.**, Pilecka, J., & Valujeva, K. (2020). Geophysical Aspects of Abandoned Landfill Geomorphological and Material Properties Macro-characterization. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 2020-Augus, pp. 551–557)*. <https://doi.org/10.5593/sgem2020/1.2/s05.070>
  15. Burlakovs, J., Kriipsalu, M., Vincevica-Gaile, Z., **Grinfelde, I.**, & Grinberga, L. (2021). Material Recovery and Revitalisation of Landfills: Multitasking Approach Striving to “Beyond the Zero Waste”. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 21, pp. 285–292)*. <https://doi.org/10.5593/sgem2021/1.1/s03.051>

16. Burlakovs, J., Pilecka, J., **Grinfelde, I.**, Arbidans, L., Arina, D., & Setyobudi, R. H. (2021). Sustainable Landfill Fine Fraction of Waste Reuse Opportunities in Covering Layer Development. In *Research for Rural Development* (Vol. 36, pp. 303–310). <https://doi.org/10.22616/rrd.27.2021.043>
17. Burlakovs, J., Pilecka, J., **Grinfelde, I.**, & Ozola-Davidane, R. (2020). Clay Minerals and Humic Substances as Landfill Closure Covering Material Constituents: First studies. In *Research for Rural Development* (Vol. 35, pp. 219–226). <https://doi.org/10.22616/rrd.26.2020.032>
18. Butenaite, D., **Grinfelde, I.**, Pilecka-Ulcugaceva, J., Vincevica-Gaile, Z., & Liepa, S. (2021). The Nitrous Oxide Isotope Measurements for Soil Samples Under Laboratory Conditions. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* (Vol. 21, pp. 529–536). <https://doi.org/10.5593/sgem2021/5.1/s21.114>
19. Eihe, P., **Grinfelde, I.**, Pilecka, J., Bakute, A., & Veberis, L. L. (2020). Impacts of Erosion in Svete River. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* (Vol. 2020-Augus, pp. 177–184). <https://doi.org/10.5593/sgem2020/3.1/s12.024>
20. Eihe, P., **Grinfelde, I.**, Pilecka, J., Valujeva, K., & Veberis, L. L. (2020). The Impact of Soil Treatment and Moisture Regime on N<sub>2</sub>O Emissions from Agricultural Soil. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* (Vol. 2020-Augus, pp. 515–522). <https://doi.org/10.5593/sgem2020/4.1/s19.064>
21. Frolova, O., **Grinfelde, I.**, Berzina, L., Valujeva, K., & Pilecka, J. (2018). Soil Moisture Impact on Ammonia Soil Fluxes with Input of Mineral Nitrogen. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* (Vol. 18, pp. 607–614). <https://doi.org/10.5593/sgem2018/4.2/S19.078>
22. Frolova, O., **Grinfelde, I.**, Kalnina, R., Berzina, L., & Valujeva, K. (2018). The Chamber Configuration Impact on Soil Flux Precision Using Cavity Ring-down Spectroscopy. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* (Vol. 18, pp. 623–629). <https://doi.org/10.5593/sgem2018/4.2/S19.080>
23. Frolova, O., **Grinfelde, I.**, Pilecka-Ulcugaceva, J., & Berzina, L. (2021). Ammonia and Methane Emissions from Digested Manure After Land Application. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* (Vol. 21, pp. 195–202). <https://doi.org/10.5593/sgem2021/4.1/s19.35>
24. Frolova, O., Zaharane, K., **Grinfelde, I.**, Valujeva, K., & Berzina, L. (2017). The Measurements of Direct N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> Emissions from Nitrogen Fertilizers Application in Laboratory Conditions. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* (Vol. 17, pp. 659–664). <https://doi.org/10.5593/sgem2017/41/S19.082>
25. Grazule, D., **Grinfelde, I.**, Pilecka-Ulcugaceva, J., Burlakovs, J., & Valujeva, K. (2021). The Development of Ecosystem Services as Premise of Sustainable Development: Case Study of Svete River in Latvia. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* (Vol. 21, pp. 289–296). <https://doi.org/10.5593/sgem2021/3.1/s12.44>

26. **Grinfelde, I.**, Briede, B., Pilecka-Ulcugaceva, J., Valujeva, K., & Liepa, S. (2021). The Education for Sustainable Development for Environmental Engineering Students. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 21, pp. 583–590). <https://doi.org/10.5593/sgem2021/5.1/s22.123>
27. **Grinfelde, I.**, Ilgaza, A., Jonova, S., Arne, A., & Kovalenko, K. (2018). Inulin Impact on CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> Balance in Holstein Friesian Crossbreed Calves Rumen. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 18, pp. 507–513). <https://doi.org/10.5593/sgem2018/4.2/S19.066>
28. **Grinfelde, I.**, Valujeva, K., Zaharane, K., & Berzina, L. (2017). Automated Cavity Ring Down Spectroscopy Usage for Nitrous Oxide Emission Measurements from Soil Using Recirculation System. In Engineering for Rural Development (Vol. 16, pp. 1111–1116). <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N235>
29. Hogland, W., Burlakovs, J., **Grinfelde, I.**, Pilecka, J., & Rage, A. (2018). The Role of Triple Helix in Soil Remediation Projects. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 18, pp. 305–312). <https://doi.org/10.5593/sgem2018/5.4/S22.039>
30. Jonova, S., Ilgaza, A., & **Grinfelde, I.** (2017). Methane Mitigation Possibilities and Weight Gain in Calves Fed With Prebiotic Inulin. In Research for Rural Development (Vol. 1, pp. 265–270). <https://doi.org/10.22616/rrd.23.2017.039>
31. Jonova, S., Ilgaza, A., **Grinfelde, I.**, & Zolovs, M. (2018). Impact of Inulin on Production of Methane, Carbon Dioxide and Gastrointestinal Canal Functionality in Calves. In Research for Rural Development (Vol. 1, pp. 264–270). <https://doi.org/10.22616/rrd.24.2018.042>
32. Kleinberga, I., **Grinfelde, I.**, Straupe, I., Pilecka-Ulcugaceva, J., & Liepa, S. (2021). Phytoremediation Plant Development in Common and Eco Friendly Household Dish Washing Household Dish Washing Products. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 21, pp. 175–181). <https://doi.org/10.5593/sgem2021/5.1/s20.046>
33. Liepa, S., Butenaite, D., Bakute, A., **Grinfelde, I.**, & Pilecka-Ulcugaceva, J. (2021). Composition of the Isotopes of Nitrous Oxide in the Clay Soil at Different Moisture Conditions. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 21, pp. 59–66). <https://doi.org/10.5593/sgem2021V/4.2/s19.a09>
34. Liepa, S., **Grinfelde, I.**, Pilecka-Ulcugaceva, J., Valujeva, K., & Burlakovs, J. (2021). The Conceptual Framework of Development of Environmentally Friendly Land Drainage System Elements Technical Solutions. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 21, pp. 279–287). <https://doi.org/10.5593/sgem2021/3.1/s12.43>
35. Pehme, K.-M., Burlakovs, J., Kriipsalu, M., Pilecka, J., **Grinfelde, I.**, Tamm, T., ... Hogland, W. (2019). Urban hydrology research fundamentals for waste management practices. In Research for Rural Development (Vol. 1, pp. 160–167). <https://doi.org/10.22616/rrd.25.2019.024>
36. Pilecka-Ulcugaceva, J., **Grinfelde, I.**, Valujeva, K., Berzina, L., & Purnalis, O. (2021). Assessment of Chemical Elements Pollution from Vehicle Emissions: Case

- Study of Jelgava City. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 21, pp. 211–220). <https://doi.org/10.5593/sgem2021/4.1/s19.37>
37. Pilecka-Ulcugaceva, J., Zabelins, V., **Grinfelde, I.**, Liepa, S., & Purmalis, O. (2021). Distribution and Pollution of Chemical Elements in Jelgava Urban Environment. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 21, pp. 261–268). <https://doi.org/10.5593/sgem2021/4.1/s19.43>
  38. Pilecka, J., **Grinfelde, I.**, Jumite, L. E., Valujeva, K., & Didze, V. L. (2020). The Anthropogenic Impact on Surface Water Quality: Case Study of Latvia. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 2020-Augus, pp. 329–337). <https://doi.org/10.5593/sgem2020/3.1/s12.043>
  39. Pilecka, J., **Grinfelde, I.**, Purmalis, O., & Burlakovs, J. (2020). Car Transport Intensity Impact on Heavy Metal Distribution in Urban Environment. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 578). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/578/1/012032>
  40. Pilecka, J., **Grinfelde, I.**, Purmalis, O., Valujeva, K., & Ulcugacevs, V. (2020). The Heavy Metal Deposition in Snow: Case Study of Jelgava City. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 2020-Augus, pp. 507–514). <https://doi.org/10.5593/sgem2020/4.1/s19.063>
  41. Pilecka, J., **Grinfelde, I.**, Valujeva, K., Frolova, O., & Purmalis, O. (2018). The Spatial Analysis of Air Pollution with Trace Elements Using Snow Sampling. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 18, pp. 663–669). <https://doi.org/10.5593/sgem2018/4.2/S19.085>
  42. Pilecka, J., **Grinfelde, I.**, Valujeva, K., Straupe, I., & Purmalis, O. (2018). The Temporal and Spatial Analysis of Transport Impact on Trace Elements In Snow Samples. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 18, pp. 671–677). <https://doi.org/10.5593/sgem2018/4.2/S19.086>
  43. Pilecka, J., **Grinfelde, I.**, Valujeva, K., Straupe, I., & Purmalis, O. (2017). Heavy Metal Concentration and Distribution of Snow and Lichea Samples in Urban Area: Case Study of Jelgava. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 17, pp. 459–466). <https://doi.org/10.5593/sgem2017/41/S19.058>
  44. Pilecka, J., Valujeva, K., **Grinfelde, I.**, Eihe, P., & Purmalis, O. (2019). Snow in the Cities as an Indicator of Air Pollution Caused by Traffic. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 19, pp. 1069–1076). <https://doi.org/10.5593/sgem2019/4.1/S19.136>
  45. Pilecka, J., Valujeva, K., **Grinfelde, I.**, Vebere, L. L., & Purmalis, O. (2019). Analyzing Differently Prepared Snow Samples to Determine Air Quality in the City. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 19, pp. 859–866). <https://doi.org/10.5593/sgem2019/4.1/S19.109>

46. Porshnov, D., Burlakovs, J., Kriipsalu, M., Pilecka, J., **Grinfelde, I.**, Jani, Y., & Hogland, W. (2019). Geoparks in Cultural and Landscape Preservation Context. In *Research for Rural Development* (Vol. 1, pp. 154–159). <https://doi.org/10.22616/rrd.25.2019.023>
47. Purmalis, O., **Grinfelde, I.**, Valujeva, K., & Burlakovs, J. (2016). The Abandoned Block -Cut Peat Extraction Field Influence on the Natural Raised Bog Hydrological Regime. In *Research for Rural Development* (Vol. 1, pp. 236–241).
48. Rakhimova, A., Khussainov, A., & **Grinfelde, I.** (2017). Impact of Coal Ash and Phosphogypsum Application on Soil Fertility of Chernozem Soils of North Kazakhstan. In *Engineering for Rural Development* (Vol. 16, pp. 1047–1051). <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N220>
49. Rozenvalde, A., **Grinfelde, I.**, Pilecka-Ulcugaceva, J., Burlakovs, J., & Pelse, M. (2021). The Circular Economy Model of Wastewater Transformation to Renewable Energy. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* (Vol. 21, pp. 101–110). <https://doi.org/10.5593/sgem2021/4.1/s17.21>
50. Valujeva, K., Burlakovs, J., **Grinfelde, I.**, Pilecka, J., Jani, Y., & Hogland, W. (2018). Phytoremediation as Tool for Prevention of Contaminant Flow to Hydrological Systems. In *Research for Rural Development* (Vol. 1, pp. 188–194). <https://doi.org/10.22616/rrd.24.2018.029>
51. Valujeva, K., Pilecka-Ulcugaceva, J., Liepa, S., & **Grinfelde, I.** (2021). Towards an Improved Understanding of Greenhouse Gas Emissions from Organic Soils Used for Agricultural Production. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* (Vol. 21, pp. 419–425). <https://doi.org/10.5593/sgem2021/3.1/s13.70>
52. Valujeva, K., Pilecka, J., Frolova, O., Berzina, L., & **Grinfelde, I.** (2017). Measurement Time Estimation of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> in Closed Chambers and Recirculation System with Picarro G2508 Analyser. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* (Vol. 17, pp. 519–526). <https://doi.org/10.5593/sgem2017/41/S19.066>
53. Valujeva, K., Pilecka, J., Grinberga, L., **Grinfelde, I.**, & Burlakovs, J. (2019). Environmental Management of Remediative and Revitalization Initiatives in Baltic Sea Region. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* (Vol. 19, pp. 253–259). <https://doi.org/10.5593/sgem2019/5.1/S20.032>
54. Valujeva, K., Pilecka, J., **Grinfelde, I.**, & Nipers, A. (2020). Optimisation of Land Use for Improved Soil Based Ecosystem Services: An example from Latvia. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* (Vol. 2020-Augus, pp. 479–485). <https://doi.org/10.5593/sgem2020/3.1/s13.062>
55. Veberē, L. L., Eihe, P., Pilecka, J., **Grinfelde, I.**, & Purmalis, O. (2020). The Water Quality in River and Role of Incoming Flows: Case Study of Svete River. In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM* (Vol. 2020-Augus, pp. 347–354). <https://doi.org/10.5593/sgem2020/3.1/s12.045>



56. Vincevica-Gaile, Z., **Grinfelde, I.**, Stankevica, K., Berzins, E., & Klavins, M. (2018). Characterisation of Wood Combustion Fly Ash in a Context of Applicability in Agriculture. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM (Vol. 18, pp. 187–194). <https://doi.org/10.5593/sgem2018/4.1/S17.025>
57. Zalite, A. A., Pilecka-Ulcugaceva, J., Valujeva, K., **Grinfelde, I.**, Liepa, S., Burlakovs, J., & Vincevica-Gaile, Z. (2021). The Impact of Crop in GHG Emissions from Clay Soils: Case Study of Latvia. In Research for Rural Development (Vol. 36, pp. 295–302). <https://doi.org/10.22616/rrd.27.2021.042>

### **Ziņojumi konferencēs / Presentations in international scientific conferences**

Promocijas darba izstrādes laikā ir sniegti 177 ziņojumi starptautiskās zinātniskās konferencēs, no kuriem 65, kas norādīti sarakstā zemāk, ir tieši sasiṭīti ar promocijas darba pētījuma tēmu:

*During the development of the research, 177 reports have been provided at international scientific conferences, 65 of which, listed below, have been directly hit with the topic of the reserch:*

1. Effect of soil physical properties on N<sub>2</sub>O isotope formation. Sindija Liepa, Kristaps Siltumens, Jovita Pilecka-Ulcugaceva, **Inga Grinfelde**, Dace Butenaite, 22nd International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, Albena, Bulgaria, 04-10 July, 2022. Bulgarian Academy of Sciences Albena, 2022.
2. The calculation algorithm of nitrous oxide emissions from soils integration into the conceptual hydrological model METQ. **Inga Grinfelde**, Anda Bakute, Jovita Pilecka-Ulcugaceva, International congress on sustainable development in the human environment-current and future challenges ICSDEV 2022, Alanya, Turkey, 19-22 october 2022. Bydgoszcz University of Science and Tehnology Ananya, 2022.
3. Effect of soil physical properties on N<sub>2</sub>O isotope formation. Sindija Liepa, Kristaps Siltumens, Jovita Pilecka-Ulcugaceva, **Inga Grinfelde**, Dace Butenaite, Linnaeus ECO-TECH 2022, 13th International conference "Establishment of cooperation between companies and institutions in the Nordic countries, the Baltic Sea region and the world", Kalmar, Sweden, November 21-23, 2022. Linnaeus University Kalmar, 2022.
4. Towards an improved understanding of greenhouse gas emissions from organic soils used for agricultural production. Kristine Valujeva, Jovita Pilecka-Ulcugaceva, Sindija Liepa, **Inga Grinfelde**, 21th International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2021, Albena, Bulgaria, 16-22 August, 2021.
5. Composition of the isotopes of nitrous oxide in the clay soil at different moisture conditions. S. Liepa, D. Butenaite, A. Bakute, I. **Grinfelde**, J. Pilecka-Ulcugaceva, 21st International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2021, Albena, Bulgaria, 7-10 December, 2021.
6. Hydrological regime optimization model for sustainable management of lake: case study of Tasu lake. Kristaps Siltumens, **Inga Grinfelde**, Jovita Pilecka-Ulcugaceva, Lasma Lucija Vebere, Anda Bakute, 21st International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2021, Albena, Bulgaria, 16-22

- August, 2021. Bulgarian Academy of Sciences Water resources. Sofia, 2021.
7. The nitrous oxide isotope measurements for soil samples under laboratory conditions. Dace Butenaite, **Inga Grinfelde**, Jovita Pilecka-Ulcugaceva, Zane Vincevica-Gaile, Sindija Liepa, 21st International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2021, proceedings, Albena, Bulgaria, 2021.
  8. The land use and climate change impact on lake Usma hydrological regime. A. Bakute, **I. Grinfelde**, J. Pilecka-Ulcugaceva, S. Liepa, K. Siltumens, 21st International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2021, conference proceedings of selected papers, Albena, Bulgaria, 7-10 December, 2021.
  9. The conceptual framework of GHG module integration in conceptual hydrological model METQ. **Inga Grinfelde**, Jovita Pilecka-Ulcugaceva, Anda Bakute, Laima Berzina, Sindija Liepa, 21st International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2021, conference proceedings of selected papers, Albena, Bulgaria, 16-22 August, 2021.
  10. The impact of crop on GHG emissions from clay soils: case study of Latvia. Anete Anna Zālīte, Jovita Pilecka-Ulcugaceva, Kristine Valujeva, **Inga Grinfelde**, Sindija Liepa, Juris Burlakovs, Zane Vincevica-Gaile, Research for Rural Development 2021., Jelgava, Latvia, 12-13 May, 2021.
  11. The impact of soil treatment and moisture regime on N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soil. Paula Eihe, **Inga Grinfelde**, Jovita Pilecka, Kristine Valujeva, Lasma Lucija Vebere, 20th International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2020, .Albena, Bulgaria, 18-24 August, 2020.
  12. The water quality in river and role of incoming flows: case study of Svete river. Lasma Lucija Vebere, Paula Eihe, Jovita Pilecka, **Inga Grinfelde**, Oskars Purmalis, 20th International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2020, proceedings, Albena, Bulgaria, 18-24 August, 2020.
  13. The nitrous oxide isotope measurements for soil samples under laboratory conditions. Dace Butenaite, **Inga Grinfelde**, Jovita Pilecka, Zane Vincevica-Gaile, "ECOBALTICA": XVII-th International Youth Scientific and Environmental Forum of Baltic region countries, Saint-Petersburg, Russia, July 16-17, 2020.
  14. The impact of landscape structure of catchment area on lake hydrology. **Inga Grinfelde**, Anda Bakute, Jovita Pilecka, Laima Berzina, Lasma Lucija Vebere, 19th International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2019, Albena, Bulgaria, 30 June-6 July, 2019.
  15. Urban hydrology research fundamentals for waste management practices. Kaur-Mikk Pehme, Juris Burlakovs, Mait Kriipsalu, Jovita Pilecka, **Inga Grinfelde**, Toomas Tamm, Yahya Jani, William Hogland, Research for Rural Development 2019, Jelgava, Latvia, 15-17 May, 2019. Latvia University of Life Sciences and Technologies. Jelgava, 2019.
  16. The automated chambers application using cavity ring down spectroscopy at field measurements. **Inga Grinfelde**, Jovita Pilecka, Geophysical Research Abstracts. European Geosciences Union Vienna, 2019.
  17. The chamber configuration impact on soil flux precision using cavity ring-down spectroscopy. Olga Frolova, **Inga Grinfelde**, Ruta Kalnina, Laima Berzina, Kristine Valujeva, 18th International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2018, Albena, Bulgaria, 2 - 8 July, 2018.

18. Tool of consistent reporting of GHG and air pollutant emissions: case study of Latvia's agricultural sector. Laima Berzina, **Inga Grīnfelde**, Olga Frolova, Karina Zaharane, Jovita Pilecka, 18th International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2018, Albena, Bulgaria, 2 - 8 July, 2018.
19. Urbāno ūdenstilpņu ūdens kvalitāti ietekmējošie faktori. Līga Lauma Pļavniece, **Inga Grīnfelde**, Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne: referātu tēzes, Rīga, Latvija, 26.janv.-7.febr., 2018. Latvijas Universitāte (Latvijas Universitātes 76. zinātniskā konference). Rīga, 2018.
20. The calibration and validation of forest hydrological response unit of conceptual hydrological model METQ. Z. Kalvite, Z. Libiete, **I. Grīnfelde**, Nordic Hydrological Conference 2018 "Hydrology and Water Resources Management in a Changing World", Bergen, Norway, August 13–15. Norwegian Hydrological Council, Nordic Association for Hydrology. Bergen, 2018.
21. Dislāpekļa oksīda emisijas faktora atbilstības izvērtējums Latvijas augsnes un klimatiskajiem apstākļiem. **Inga Grīnfelde**, Laima Bērziņa, Jovita Pilecka, Olga Frolova, Līdzsvarota lauksaimniecība, zinātniski praktiskās konferences tēzes, Jelgava, Latvija, 22.02.2018. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Lauksaimniecības fakultāte. Latvijas Agronomu biedrība. Latvijas Lauksaimniecības un meža zinātņu akadēmija. Jelgava, 2018.
22. Moisture effect on CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from soils in Latvia. Liene Kalniņa, Olga Frolova, Kristīne Valujeva, **Inga Grīnfelde**, 13th International scientific conference "Students on their way to science" (undergraduate, graduate, post-graduate students), April 20, 2018 Latvia University of Life Sciences and Technologies. Jelgava, 2018.
23. Urban hydrological response unit parameter calibration and verification for conceptual hydrological model METQ. **Inga Grīnfelde**, Anda Bakute, 16th International scientific conference "Engineering for rural development", Jelgava, Latvia, May 24 - 26, 2017 Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Latvian Academy of Agricultural and Forestry Sciences. Jelgava, 2017.
24. The local parameters sensitivity of urban hydrological response unit of conceptual hydrological model METQ. **Inga Grīnfelde**, Anda Bakute, 8th international scientific conference "Rural Development 2017: Bioeconomy Challenges", Kaunas, Lithuania, 23-24 November, 2017.
25. Urbānās hidroloģiskās atbildes vienības integrācija konceptuālajā hidroloģiskajā modelī METQ. **Inga Grīnfelde**, Vadims Uļčugačevs, Konference "Kūdra un sapropelis – ražošanas, zinātnes un vides sinerģija resursu efektīvas izmantošanas kontekstā", . Rīga, Latvija, 31. Janvāris, 2017.
26. Application of model METQ for hydrological calculations. Anda Bakute, **Inga Grīnfelde**, Ainis Lagzdīņš, Research for rural development 2017, annual 23rd international scientific conference ., Jelgava, Latvia, 17-19 May, 2017.
27. The Automated cavity ring down spectroscopy usage for nitrous oxide and ammonia emissions measurements from soil using recirculation and closed chamber systems. **Inga Grīnfelde**, Laima Berzina, Kristīne Valujeva, Innovative solutions for sustainable management of nitrogen, international conference at Aarhus University Denmark, June 26-28, 2017.
28. Automated cavity ring down spectroscopy usage for nitrous oxide emission

- measurements from soil using recirculation system. **Inga Grinfelde**, Kristine Valujeva, Karina Zaharane, Laima Berzina, 16th International scientific conference "Engineering for rural development", proceedings, Jelgava, Latvia, May 24 - 26, 2017.
29. The changes of lake hydrological cycle: a case study of lake Usma in Latvia. **Inga Grinfelde**, Anda Bakute, Kristine Steinberga, Jovita Pilecka, 17th International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2017, conference proceedings, Albena, Bulgaria, 29 June-5 July 2017.
  30. The measurements of direct N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> emissions from nitrogen fertilizers application in laboratory conditions. Olga Frolova, Karina Zaharane, **Inga Grinfelde**, Kristine Valujeva, Laima Berzina, 17th International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2017, conference proceedings, Albena, Bulgaria, 29 June-5 July 2017.
  31. Measurement time estimation of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> in closed chambers and recirculation system with Picarro G2508 analyser. Kristine Valujeva, Jovita Pilecka, Olga Frolova, Laima Berzina, **Inga Grinfelde**, 17th International multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2017, Albena, Bulgaria, 29 June-5 July 2017.
  32. Karjera tipa kūdras ieguves ietekme uz augstā purva hidroloģisko režīmu. **Inga Grīnfelde**, Oskars Purmalis, Jovita Pilecka, Kristīne Valujeva, Konference "Kūdra un sapropelis – ražošanas, zinātnes un vides sinerģija resursu efektīvas izmantošanas kontekstā", Rīga, Latvija, 31. Janvāris, 2017.
  33. Spektrofotometra Picarro G2508 izmantošanas iespējas siltumnīcefekta gāzu emisiju noteikšanai dažādās augsnēs. Kristīne Valujeva, **Inga Grīnfelde**, Olga Frolova, Jovita Pilecka, Laima Bērziņa, Konference "Kūdra un sapropelis – ražošanas, zinātnes un vides sinerģija resursu efektīvas izmantošanas kontekstā", Rīga, Latvija, 31.janvāris, 2017.
  34. Measurements of direct N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> emissions from nitrogen fertilizers application in laboratory conditions. Karīna Zaharāne, **Inga Grīnfelde**, 12th International scientific conference "Students on their way to science" (undergraduate, graduate, post-graduate students), April 21, 2017.
  35. Development of sustainable urban rain water management and drainage systems in Latvia's climate conditions. Madara Keiva, **Inga Grīnfelde**, 12th International scientific conference "Students on their way to science" (undergraduate, graduate, post-graduate students), April 21, 2017.
  36. Peat extraction impact on hydrological regime of raised bog. Jovita Pilecka, **Inga Grīnfelde**, 12th International scientific conference "Students on their way to science" (undergraduate, graduate, post-graduate students), April 21, 2017.
  37. The local parameters sensitivity of urban hydrological response unit of conceptual hydrological model METQ. **Inga Grīnfelde**, Anda Bakute, The 8th International scientific conference "Rural development 2017: Bioeconomy Challenges": Kaunas, Lithuania, 23-24th November, 2017.
  38. The automated cavity ring down spectroscopy usage for nitrous oxide and ammonia emissions from synthetic fertiliser application. **Inga Grīnfelde**, Laima Berzina, International Expert Workshop NIFLUM 2017 "Nitrogen Flux Method Evaluation", Berlin, Germany, 28-29 Sept., 2017.
  39. Impact of the Slampe river renaturalisation on hydrological regime of nearby

- territories. Laura Virubka, **Inga Grīnfelde**, 12th International scientific conference "Students on their way to science" (undergraduate, graduate, post-graduate students), collection of abstracts, April 21, 2017.
40. Frēzkūdras ieguves ietekme uz augstā purva hidroloģisko režīmu. **Inga Grīnfelde**, Jovita Pilecka, Olga Frolova, Kristīne Valujeva, Konference "Kūdra un sapropelis – ražošanas, zinātnes un vides sinerģija resursu efektīvas izmantošanas kontekstā", Rīga, Latvija, 31. Janvāris, 2017.
  41. The development of conceptual model METQ and integration in study process. **Inga Grīnfelde**, Laima Berzina, Jovita Pilecka, X Nordic-Baltic Agrometrics conference: Mathematics and statistics for the sustainable development, Jelgava, Latvia, Sept. 15-17, 2016.
  42. The abandoned block-cut peat extraction field influence on the natural raised bog hydrological regime. Oskars Purmalis, **Inga Grīnfelde**, Kristīne Valujeva, Juris Burlakovs, Research for rural development 2016, annual 22nd international scientific conference proceedings, Jelgava, Latvia, 18-20 May, 2016.
  43. Integration of urban hydrological response unit into the conceptual model METQ. **I. Grīnfelde**, A. Bakute, Nordic Water 2016, XXIX Nordic hydrological conference "The role of hydrology towards water resources sustainability", Kaunas, Lithuania, August 8-10, 2016.
  44. Optimisation of sustainable water level management: case study of lake Usma. Anna Kuduma, **Inga Grīnfelde**, 11th International scientific conference "Students on their way to science", (undergraduate, graduate, post-graduate students), collection of abstracts, April 22, 2016.
  45. The impact of catchment area land management on lake water level fluctuations. Sabine Oficiere, **Inga Grīnfelde**, 11th International scientific conference "Students on their way to science", (undergraduate, graduate, post-graduate students), collection of abstracts, April 22, 2016.
  46. Gravas un Vecdzirnavu HES darbības ietekme uz Usmas ezera ūdens līmeņu svārstībām. Jovita Pilecka, **Inga Grīnfelde**, Latvijas Universitātes 74. zinātniskā konference, Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne, Rīga, Latvija, 1.-5.febr., 2016.
  47. Sensitivity analysis of the conceptual model METQ. A. Bakute, **I. Grīnfelde**, Nordic Water 2016, XXIX Nordic hydrological conference "The role of hydrology towards water resources sustainability", Kaunas, Lithuania, August 8-10, 2016. Aleksandras Stulginskis University, Vytautas Magnus University, Nordic Association for Hydrology. Kaunas, 2016.
  48. Development of the greenhouse gas emission calculation tool MITGHGLV. Laima Berzina, **Inga Grīnfelde**, Olga Frolova, X Nordic-Baltic Agrometrics conference: Mathematics and statistics for the sustainable development, Jelgava, Latvia, Sept. 15-17, 2016.
  49. The changes of lake hydrological regime: a case study of lake Usma in Latvia. **I. Grīnfelde**, K. Steinberga, J. Pilecka, Nordic Water 2016, XXIX Nordic hydrological conference "The role of hydrology towards water resources sustainability", Kaunas, Lithuania, August 8-10, 2016. Aleksandras Stulginskis University, Vytautas Magnus University, Nordic Association for Hydrology. Kaunas, 2016.
  50. The peat extraction impact on hydrological regime of the raised bog. **I. Grīnfelde**, K. Valujeva, O. Purmalis, Nordic Water 2016, XXIX Nordic hydrological

- conference "The role of hydrology towards water resources sustainability", Kaunas, Lithuania, August 8-10, 2016. Aleksandras Stulginskis University, Vytautas Magnus University, Nordic Association for Hydrology. Kaunas, 2016.
51. Pamatmēslojuma ietekme uz augsnes ūdens kvalitāti *Populus tremuloides* X *Populus Tremula* kokaugu stādījumā minerālaugsnē. Arta Bārdule, Dagnija Lazdiņa, **Inga Grīnfelde**, Toms Sarkanābols, Andis Bārdulis, Latvijas Universitātes 74. zinātniskā konference, Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne, referātu tēzes, Rīga, Latvija, 1.-5.febr., 2016.
  52. Base nutrient leaching in the fertilized hybrid aspen (*Populus tremuloides* x *Populus tremula*) plantation cultivated in agroforestry system in Latvia. **Inga Grīnfelde**, Arta Bardule, Dagnija Lazdina, Toms Sarkanabols, Andis Bardulis, Nordic Water 2016, XXIX Nordic hydrological conference "The role of hydrology towards water resources sustainability", Kaunas, Lithuania, August 8-10, 2016.
  53. The abandoned block-cut peat extraction field impact on the naturally raised bog hydrological regime. Kristīne Valujeva, **Inga Grīnfelde**, 10th International scientific conference "Students on their way to science", (undergraduate, graduate, post-graduate students), collection of abstracts, April 24, 2015.
  54. The Gravas and Vecdzirnavu hydropower station impact on Usma lake water level fluctuaction. Jovita Pilecka, **Inga Grīnfelde**, 10th International scientific conference "Students on their way to science", (undergraduate, graduate, post-graduate students), collection of abstracts, April 24, 2015.
  55. The long-term changes of lake Usma hydrological regime. Kristine Steinberga, **Inga Grīnfelde**, 10th International scientific conference "Students on their way to science", (undergraduate, graduate, post-graduate students), collection of abstracts, April 24, 2015.
  56. Influence of tourist objects on the water quality in Usma lake. Žanete Ziemele, **Inga Grīnfelde**, 10th International scientific conference "Students on their way to science", (undergraduate, graduate, post-graduate students) :, April 24, 2015.
  57. The impact of small hydroenergetic to the lakes' hydrological regime. Anna Kuduma, **Inga Grīnfelde**, 10th International scientific conference "Students on their way to science", (undergraduate, graduate, post-graduate students), collection of abstracts, April 24, 2015.
  58. Drained lakes in the territory of Latvia. Olga Frolova, **Inga Grīnfelde**, 10th International scientific conference "Students on their way to science", (undergraduate, graduate, post-graduate students), collection of abstracts, April 24, 2015.
  59. Ar karjeras metodi izstrādāto kūdras purvu hidroloģiskā režīma atjaunošanās. **Inga Grīnfelde**, Kristīne Valujeva, Oskars Purmalis, Latvijas Universitātes 73. zinātniskā konference, Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne, referātu tēzes, Rīga, Latvija, 2.-6.febr., 2015.
  60. Changes of lake hydrological cycle: case study of lake Usma in Latvia. Kristine Steinberga, **Inga Grīnfelde**, 9th International scientific conference "Students on their way to science", (undergraduate, graduate, post-graduate students), collection of abstracts, April 25, 2014.
  61. Peat extraction impact on hydrological regime of high moss. Agris Bodnieks, **Inga Grīnfelde**, 9th International scientific conference "Students on their way to

- science", (undergraduate, graduate, post-graduate students), April 25, 2014.
62. Sensitivity test of hydrological model METQ. Karlis Deikovskis, **Inga Grinfelde**, 9th International scientific conference "Students on their way to science", (undergraduate, graduate, post-graduate students), April 25, 2014.
  63. Assessment of water body overgrow using GIS technologies: case study of lake Usma. Zane Sarkane, **Inga Grinfelde**, 9th International scientific conference "Students on their way to science", (undergraduate, graduate, post-graduate students), collection of abstracts, April 25, 2014.
  64. Hydroengineering sciences, hydrology, hydrotechnics and water management - higher education development perspectives in Latvia = Hidroinženierzinātņu, hidroloģijas, hidrotehnikas un ūdenssaimniecības apakšnozares augstākās izglītības programmu attīstības perspektīvas Latvijā. **Inga Grinfelde**, From green projects to green society, conference proceedings, October 22, 2010.
  65. Changes in groundwater levels at agricultural fields caused by climate changes. J. Valters, **I. Grinfelde**, E. Pundurs, 2nd International interdisciplinary conference "Predictions for hydrology, ecology, and water resources management: changes and hazards caused by direct human interventions and climate change", Prague, Czech Republic, 20 - 23 September 2010.

### **Akadēmiskais darbs / Academic work**

Promocijas darba izstrādes laikā iegūtās zināšanas un iestrādes tiek izmantotas Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitātes un citu augstākās izglītības iestāžu, pamatstudiju studentu, maģistrantu un doktorantu zinātniskajos darbos. Promocija darba iestrādņu integrācija izglītojošā darbā ir apkopota 1.1. tabulā, kur krāsojums atbilst konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ pilnveides soļiem kas grafiski prezentēti 1.1. un 2.1. attēlos.

*The knowledge and input acquired during the development of the research shall be utilised in the scientific work of the Latvian University of Life Sciences and Technologies and other institutions of higher education, students of undergraduate studies, master and doctoral students. The research integration of workpieces into educational work is summarised in Table 1.1, where the paint corresponds to the steps of development of the conceptual hydrological model METQ presented graphically in Figures 1.1 and 2.1.*

1.1.tabula **Promocija darba iestrādņu integrācija izglītojošā darbā**  
*Table 1.1. The research intedration in academic work*

N.p.k.	Aktivitāte / Activity	Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ izmantošana / Use of the conceptual hydrological model METQ
1.	Studiju kurss Inženierhidroloģija 3 KP	Izpratnes veicināšana par hidroloģiskajiem procesiem, īpaši pavasara palieiem
2.	Studiju kurss Hidroloģiskā modelēšana 3 KP	Iepazīstas ar modeļa struktūru un galvenajiem darbības principiem.
3.	Studiju kurss Upju baseinu apsaimniekošana I 2 KP un II 2 KP	Iepazīstas ar modeļa struktūru un galvenajiem darbības principiem.
4.	Studiju kurss Hidroloģisko procesu modeļēšana 4 KP	Iepazīstas ar modeļa struktūru un galvenajiem darbības principiem. Apgūst parametru kalibrāciju.
5.	Studiju kurss Zinātniskā darba pamati II 2 KP	Modelis tiek izmantots dažādos pētījumos.
6.	Doktora darbs Arta Bārdule "Mikro- un makroelementu plūsmas īsirtmeta apšu hibrīdu (Populus tremuloides Michx. x Populus tremula L.) kokaugu stādījumā lauksaimniecības zemē".	Konceptuālais hidroloģiskais modelis METQ tika izmantots, lai modelētu augu barības vielu noteces apjomu no kokaugu stādījumiem (Bardule, Grinfelde, Lazdina, Bardulis, & Sarkanabols, 2018)
7.	Maģistra darbs Kristīne Šteinberga "Usmas ezera hidroloģiskā režīma ilgtermiņa izmaiņas".	Konceptuālais hidroloģiskais modelis METQ tika izmantots, lai modelētu Usmas ezera ūdens līmeņa izmaiņas
8.	Maģistra darbs Anna Kuduma "Mazo HES hidroekonomiskā modeļa adaptācija Latvijā".	Konceptuālais hidroloģiskais modelis METQ tika izmantots, lai modelētu Usmas ezera
9.	Maģistra darbs Sabīne Oficiere "Sateces baseina apsaimniekošanas ietekme uz ezeru hidroloģisko režīmu".	Konceptuālais hidroloģiskais modelis METQ tika izmantots, lai modelētu Usmas ezera ūdens līmeņa izmaiņas
10.	Maģistra darbs Dace Butenaite "N <sub>2</sub> O izotopu mērījumu veikšana augsnes paraugiem laboratorijas apstākļos".	Izstrādāta metodika N <sub>2</sub> O izotopu mērījumiem no augsnēm
11.	Maģistra darbs Anete Anna Zālīte "Augsnes apstrādes un audzētās kultūras ietekme uz SEG emisijām māla augsnēs".	Sagatavota SEG emisiju datu bāze METQ modeļa pilnveidei.
12.	Maģistra darbs Luīze Lepiksone N <sub>2</sub> O veidošanās procesa izpēte augsnēs ar dažādu organiskās vielas saturu	Pētīta N <sub>2</sub> O izotopu izcelsme organiskajās augsnēs
13.	Maģistra darbs Sindija Liepa Izotopu izmantošanas iespējas N <sub>2</sub> O avotu identifikācijai no augsnēm	Izstrādāta metodika N <sub>2</sub> O izotopu avotu identifikācijai no augsnēm



## 1.IEVADS

Vairāk nekā puse pasaules iedzīvotāju dzīvo urbānajās teritorijās un ANO iedzīvotāju migrācijas prognozes rāda, ka 2030. gadā to īpatsvars pārsniegs 80% (United Nations, 2019). Iedzīvotāju skaita un urbanizācijas līmeņa palielināšanās liek arvien vairāk domāt par ilgtspējīgu resursu, tajā skaitā ūdens, apsaimniekošanu un adaptāciju klimata pārmaiņām (Saedi, Sharifi, Saremi, & Babazadeh, 2022).

Zemes lietojuma veida maiņa, īpaši urbanizācija, būtiski ietekmē hidroloģiskos procesus (Ajjur & Al-Ghamdi, 2022). Urbānās teritorijas ne tikai rada papildus piesārņojuma slodzi un samazina ūdens resursus, bet arī tajās veido ūdensapgādes un kanalizācijas infrastruktūru, kā arī attīsta plūdu aizsardzības sistēmas (Crawford et al., 2022; Hernández-Hernández, Olcina, & Morote, 2020). Spēcīgu lietusgāzu gadījumā urbānās teritorijās veidojas lokāli plūdi, kas kļūst arvien intensīvāki un atkārtojas arvien biežāk (Chen, Hill, & Urbano, 2009; Kang, Park, & Singh, 1998; X. Li et al., 2022; Mark, Weesakul, Apirumanekul, Aroonnet, & Djordjević, 2004; Schmitt, Thomas, & Ettrich, 2004). Plūdos visbiežāk cieš vai zaudē dzīvību iedzīvotāji no sabiedrības nabadzīgākajām grupām, kā arī tiek nodarīti materiālie zaudējumi, kas mērāmi vairākos miljardos dolāru (Abdeljaber, Adghim, Abdallah, Ghanima, & ALjassem, 2022; Jonkman & Vrijling, 2008; Kron, Steuer, Löw, & Wirtz, 2012). Eiropas Savienībā plūdu riska mazināšanas pasākumus nosaka Plūdu Direktīva 2007/60/EC (European Parliament, 2007), kas nosaka dalībvalstīm veikt plūdu riska novērtēšanu un apdraudēto teritoriju kartēšanu.

Izpratne par urbāno teritoriju hidroloģisko režīmu pašlaik tiek veidota un attīstīta, izmantojot monitoringa datus un modelēšanas piedāvātās iespējas, taču lai izmantotu modelēšanas rīkus, ir nepieciešami vismaz divdesmit gadu hidroloģiskā režīma dati (DeFries & Eshleman, 2004; Delleur, 2003; T. D. Fletcher, Andrieu, & Hamel, 2013; Praskievicz & Chang, 2009; Zhong et al., 2022). Urbāno sateces baseinu hidroloģisko procesu modelēšana ir sarežģīta sadrumstalotās vides, specifisko hidroloģisko režīmu un urbānajā vidē raksturīgu hidroloģisko procesu dēļ (Meng, 2022; Rodriguez, Andrieu, & Zech, 2000). Urbānā vide rada hidroloģiskā cikla izmaiņas un tajā pašā laikā ļoti jutīgi reaģē uz hidroloģiskā cikla izmaiņām visa sateces baseina teritorijā. Bach 2014, pētījums atklāj, ka ir nepieciešams klasificēt urbāno sateces baseinu integrētos modeļus un tos klasificēt pēc integrācijas pakāpes (Bach, Rauch, Mikkelsen, McCarthy, & Deletic, 2014; Zhou, Luo, Qin, Su, & Ren, 2022), lai reducētu modeļa aprēķina rezultātu nenoteiktību, ko rada urbānās vides heterogenitāte. Pašlaik notiek diskusijas par ūdens aprites cikla universālas koncepcijas vai metodoloģijas izstrādi sateces baseina līmenī (Zhou et al., 2022).

Hidroloģisko procesu mainība un atkarība no klimata un geomorfoloģiskajiem apstākļiem, kā arī antropogēnajiem faktoriem, mūsdienu

hidrologiem sniedz izaicinājumu prognozēt un paredzēt iespējamo hidroloģisko procesu dinamiku laikā un telpā. Modeļi ar augstu telpisko izšķirtspēju ir ar sarežģītiem aprēķinu algoritmiem un nepieciešams salīdzinoši liels un blīvs novērojumu datu apjoms, kas bieži vien nav pieejams, tādējādi ietekmējot modeļa rezultātu nenoteiktību. Modeļa rezultātu nenoteiktību samazināšanai ieteicams izvēlēties mērķim un pieejamiem datiem atbilstošu modelēšanas rīku. Starptautiskā hidroloģijas zinātnieku asociācija (IAHS) ir izvirzījusi kopumā divdesmit trīs neatbildētus jautājumus hidroloģijas jomā, kas jāmēģina risināt nākamajā desmitgadē, tajā skaitā jautājumi, kas tieši saistīti ar promocijas darbā izvirzīto mērķi (Blöschl et al., 2019), respektīvi, hidroloģisko modeļu izmantošana hidroloģiskā cikla izmaiņu prognozēšanā mainīga klimata un zemes lietošana veida apstākļos, urbanizācijas ietekme uz hidroloģiskā cikla izmaiņām, ūdens pārvaldības ietekme pārtikas ķēdēm tajā skaitā SEG emisijām no antropogēnām ekosistēmām.

Latvijas teritorijā lielākā daļa ūdens objektu ir ar antropogēno ietekmi, un antropogēnajām slodzēm reģionā ir tendence palielināties. Kā piemēru var minēt straujo pilsētu attīstību, mežsaimniecības un lauksaimniecības intensifikāciju.

### **1.1. Urbāno hidroloģisko procesu un SEG emisiju modelēšanas iespējas Latvijā**

Latvijā kopš 19.gadsimta ir izveidota nozīmīga un ilglaicīga fundamentālo pētījumu datu bāze, kas ļāva attīstīt hidroloģisko procesu modelēšanas algoritmus. Ir ļoti plaša ilglaicīgo pētījumu bāze par gruntsūdens līmeņu svārstībām un mitruma režīmu augsnē. Kā noslēdzošo posmu šo pētījumu ciklā var minēt konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ izveidi. Kam par pamatu ņemts gruntsūdeņu līmeņa prognozēšanas rīks METUL (Krams & Ziverts, 1993; Ziverts, 1976; A. Ziverts & Jauja, 1999; Ansis Ziverts, 1997). Modeļa kalibrācija un validācija ir pabeigta dabiskajos zemes lietojuma veidos, Latvijā tipiskajām hidroloģiskajām atbildes vienībām, taču nav veikta kalibrācija un validācija urbānajai hidroloģiskajai atbildes vienībai.

Pasaules pieredze rāda, ka lielākā daļa modeļu, kas izmantoti hidroloģisko procesu modelēšanā ir veidoti konkrētās zinātniskās grupās, kuru galvenais uzdevums ir nodrošināt nacionālā un lokālā līmeņa vajadzības pēc ticamām hidroloģiskajām prognozēm. Hidroloģisko procesu modelēšana ir nebeidzams process, kur, palielinoties datu pieejamībai un programmu nodrošinājumam, ir iespējas iekļaut arvien precīzākus aprēķina algoritmus. Tomēr, palielinoties modeļu datu ietilpībai un modeļa veiktspējas jaudai, ir jāizvērtē katra modeļa precizitātes rādītāji, jo neprecīzi izejas dati var novest pie nepieņemami augstas rezultātu nenoteiktības. Konceptuāli hidroloģiskie modeļi ir ļoti veiksmīgi pielietojami urbāno sateces baseinu hidroloģisko procesu modelēšanā, jo sniedz iespēju prognozēt caurplūdumu konkrētā gultnes vērūmā ar augstu precizitāti.

Konceptuālo hidroloģisko modeļu uzbūve, kas balstīta uz hidroloģisko atbildes vienību aprēķinu principiem ļauj veikt modeļa uzlabojumus un izstrādāt un integrēt aprēķinu algoritmā neierobežotu skaitu hidroloģisko atbildes vienību skaitu.

SEG Emisiju aprēķinu modeļi ir ļoti daudzveidīgi un balstīti uz atšķirīgiem principiem, kas katrs ir veidots ar konkrētu mērķi. Ja mērķis ir modelēt SEG emisijas no augsnes, tad viena no labākajām pieejām ir izmantot hidroloģiskos modeļus, kas balstīti uz konceptuālajiem hidroloģisko procesu modelēšanas principiem. SEG emisiju no augsnēm modelēšanas galvenie principi visām gāzēm ir cieši saistīti ar temperatūras un mitruma režīmu augsnē. Šos parametrus ir iespējams modelēt, izmantojot konceptuālo hidroloģisko modeli METQ, kas ir ar atvērta kodu un ļauj izstrādāt un integrēt papildu parametrus un moduļus SEG emisiju no augsnēm modelēšanā. Lai uzsāktu urbānās hidroloģiskās atbildes vienības un SEG emisiju moduļu integrāciju konceptuālajā hidroloģiskajā modelī METQ, ir nepieciešams aprakstīt modeļa galvenos algoritmus izprast modeļa darbības principus. Parāleli jāsigatavo informācija par SEG emisiju no augsnēm modelēšanas pamatprocesiem un apkopot pieejamo informāciju par papildus faktoru aprēķina algoritmu iekļaušanu modeļa algoritmu struktūrā.

Konceptuālais hidroloģiskais modelis METQ ir izveidots Latvijas Lauksaimniecības universitātes zinātnieku vadībā un apobēts caurplūdumu kvantitatīvai novērtēšanai. Līdz šim izmantoto METQ konceptuālo modeli nav iespējams pielietot caurplūduma modelēšanai platībās ar urbānām teritorijām. Galvenais iemesls šim trūkumam ir tas, ka Latvijā līdz šim nav izveidots hidrometriskais postenis, kas monitorētu caurplūdumu urbānā sateces baseinā.

Konceptuālā modeļa METQ atīstība un pilnveidošana ir nepieciešama ne tikai caurplūduma kvantitatīvai analīzei, bet, papildus to pilnveidojot, ir iespējams veikt starpdisciplinārus pētījumus ekohidroloģijas apakšnozarē, kas pēta ūdens un ekosistēmas mijiedarbību. Vides inženierijā, kas risina difūzā piesārņojuma samazināšanas jautājumus, un SEG emisiju no augsnēm samazinošo tehnoloģiju ieviešanas jautājumus, kur ūdens saturam augsnē un gruntsūdens svārstībām ir viena no galvenajām lomām, piemēram, dislāpekļa oksīda emisiju rašanās procesos (Blöschl et al., 2019).

## **1.2. Promocijas darba mērķis**

Promocijas darba mērķis ir pilnveidot konceptuālo hidroloģisko modeli METQ, integrējot urbāno hidroloģisko atbildes vienību, un sagatavot datubāzi un konceptuālo risinājumu SEG emisiju no augsnēm modelēšanai, izmantojot konceptuālajā hidroloģiskajā modelī METQ ietverto hidroloģisko aprēķinu augsnes aktīvajā slānī, gruntsūdenī un ar to saistītajā kapilārajā pacelšanās slānī.

### **1.3. Promocijas darba pētnieciskie uzdevumi**

1. apkopot līdzšinējo pieredzi hidroloģisko procesu modelēšanā un modeļu izmantošanas iespējas urbāno hidroloģisko procesu un SEG emisiju no augsnēm modelēšanā;
2. izvērtēt urbānās hidroloģiskās atbildes vienības un SEG emisiju no augsnēm aprēķina algoritmu integrācijas iespējas konceptuālajā hidroloģiskajā modelī METQ;
3. izveidot konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ modelēšanas platformu ar integrētu urbānās hidroloģiskās atbildes vienību un tai izstrādāt algoritmu SEG emisiju no augsnēm aprēķina moduļu konceptuālo risinājumu;
4. izvērtēt konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ parametru jutīgumu urbānās hidroloģiskās atbildes vienības kalibrācijas un validācijas procesa optimizācijai;
5. sniegt ieskatu konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ izmantošanas iespējām klimata pārmaiņu un zemes lietošanas veidu maiņas ietekmes izvērtēšanā un caurplūdumu prognozēšanā;
6. izstrādāt konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ pilnveides scenāriju SEG emisiju no augsnēm modelēšanai, kas ietver moduļa algoritma izbūves koncepciju dislāpekļa oksīdam, metānam un ogļskābajai gāzei.

### **1.4. Promocijas darbā aizstāvamās tēzes**

1. Konceptuālais hidroloģiskais modelis METQ ir piemērots urbānās hidroloģiskās atbildes vienības integrācijai un klimata pārmaiņu un zemes lietošanas veidu maiņas ietekmes izvērtēšanā un caurplūdumu prognozēšanā;
2. Konceptuālais hidroloģiskais modelis METQ ir piemērots dislāpekļa oksīda, metāna un ogļskābās gāzes potenciālo emisiju modelēšanai no augsnēm.

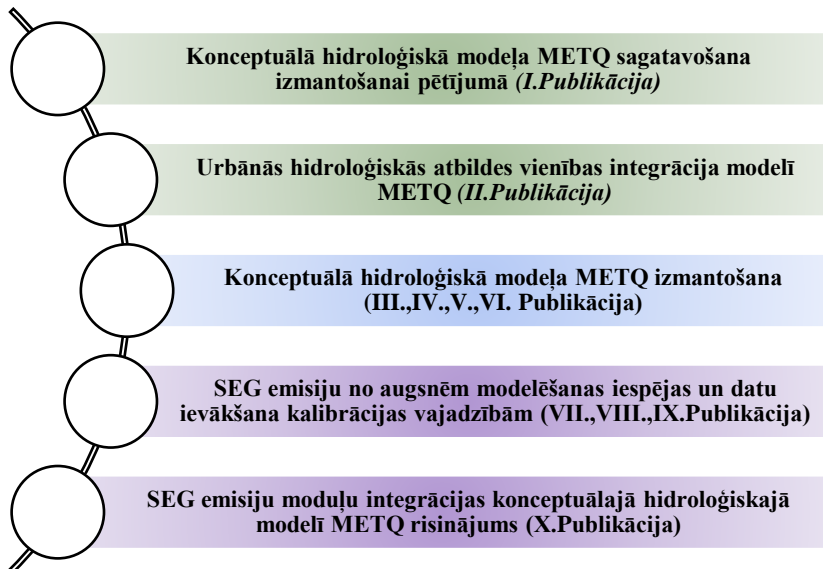
### **1.5. Promocijas darba novitāte**

1. Apkopota līdzšinējā pieredze hidroloģisko procesu modelēšanā un modeļu izmantošanas iespējas urbāno hidroloģisko procesu un SEG emisiju modelēšanā;
2. izvērtētas urbānās hidroloģiskās atbildes vienības un SEG emisiju aprēķina algoritmu integrācijas iespējas konceptuālajā hidroloģiskajā modelī METQ;

3. izveidota, lietotājam ērta, konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ modelēšanas platforma ar integrētu urbānās hidroloģiskās atbildes vienību un tai izstrādāts algoritms SEG emisiju aprēķina moduļu konceptuālajiem risinājumiem;
4. novērtēta konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ modelēšanas platformas veiktspēja, izvērtēta autokalibrācijas algoritmu efektivitāte, veikta modeļa jutīguma analīze un urbānās hidroloģiskās atbildes vienības kalibrācija un validācija;
5. sniegts ieskats konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ izmantošanas iespējām klimata pārmaiņu un zemes lietošanas veidu maiņas ietekmes izvērtēšanā un caurplūdumu prognozēšanā, kā arī ūdenskrātuvju apsaimniekošanas pasākumu optimizācijai;
6. izstrādāti priekšlikumi konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ izmantošanai SEG emisiju no augsnēm modelēšanai.

### 1.6. Promocijas darba pētījuma uzbūve

Promocijas darba pētījums veidots vairākās pakāpēs, lai saniegtu promocijas darbam izvirzīto mērķi (skat. 1.1.att.).



1.1.att. Promocijas darba pētījuma galvenie soļi.

Pirmajā solī tika sagatavota modelēšanas platforma METQUL2012 ar iebūvētiem autokalibrācijas algoritmiem un iebūvētu urbāno hidroloģiskās

atbildes vienību, kā arī veikts parametru jutīguma tests. Otrajā solī tika veikta urbānās hidroloģiskās atbildes vienības kalibrācija un validācija. Trešajā solī konceptuālais hidroloģiskais modelis METQ tika izmantots klimata mainības un zemes lietojuma veida maiņas kompleksās ietekmes izvērtēšanā uz hidroloģisko režīmu. Ceturtajā solī tika apzinātas metodes SEG emisiju modelēšanai no augsnēm un sagatavota metodika gāzu mērījumu veikšanai modeļa kalibrācijas vajadzībām. Piektajā solī tika izstrādāta koncepcija SEG emisiju aprēķinu algoritmu integrācijai konceptuālajā hidroloģiskajā modelī METQ.

## **2. MATERIĀLI UN METODES**

Promocijas darbā izvirzītais mērķis ir sarežģīts, tādēļ pētījums tika sadalīts nosacīti piecos posmos. Pētījuma veikšanas konceptuālā shēma ir attēlota 2.1.att. Pirmajā posmā tika izstrādāta konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ modelēšanas platforma (Inga Grinfelde & Lauva, 2012). Otrajā posmā tika veikta modeļa verifikācija, autokalibrācijas algoritmu testēšana un veikspējas salīdzināšana un parametru jutīguma tests (I.publikācija) un trešajā posmā tika veikta urbānās hidroloģiskās atbildes vienības parametru kalibrācija un urbānās hidroloģiskās atbildes vienības moduļa verifikācija (II.Publikācija).

Ceturtajā posmā tika veikta Usmas ezera noteces modelēšana, lai izvērtētu zemes lietojuma veida un klimata mainības kumulatīvo ietekmi uz noteci (III.; IV. un V. Publikācija) un Tāšu ezera kompleksa modelēšana ar mērķi sniegt rekomendācijas ilgtspējīgai ezera apsaimniekošanai (VI.publikācija). SEG emisiju no augsnēm modelēšanas iespējas un datu ievākšana kalibrācijas vajadzībām (VII.; VIII. un IX.publikācija). SEG emisiju moduļu integrācijas konceptuālajā hidroloģiskajā modelī METQ risinājums (X.publikācija)

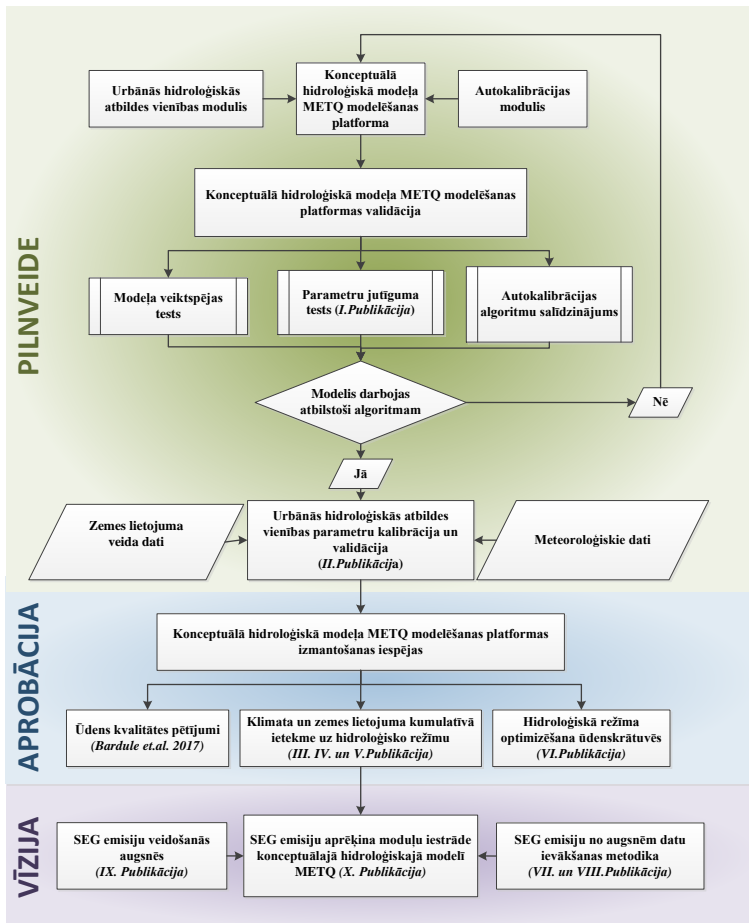
Promocijas darba izstrādes laikā tika ievēroti modelēšanas procesa pamatposmi, kas ļauj izsekot modeļa attīstībai un mazina kļūdu riskus modelī.

### **2.1. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ sagatavošana izmantošanai pētījumā**

Konceptuālais hidroloģiskais modelis METQ ir izveidots 1996. gadā (A. Ziverts & Jauja, 1996), kā modeļa METUL (Krams & Ziverts, 1993) modifikācija, kas ļauj ūdenstece baseinu sadalīt apakšbaseinos jeb hidroloģiskajās atbildes vienībās. Modeļa METQ96 aprēķina algoritms dod iespēju aprēķināt ikdienas caurplūdumu, izmantojot diennakts vidējās temperatūras, nokrišņu un mitruma deficīta novērojumus.

Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ nākamā uzlabotā versija METQ0203 tika izstrādāta 2002. gadā. Modeli ieteicams lietot caurplūdumu modelēšanai baseiniem ar laukumu līdz apmēram 2000 km<sup>2</sup>. Ūdensnotekām ar

lielāku baseina laukumu ieteicams baseinu iedalīt daļbaseinos. Tomēr, ja mazākas upes baseinā ir liels ezers vai ūdenskrātuve, tad modelēšana vispirms veicama šī ezera vai ūdenskrātuves baseinam, bet baseina daļa lejpus šī ezera vai ūdenskrātuves ir modelējama kā atsevišķs daļbaseins.



2.1.att. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ pilnveides plūsmas diagramma

Turpinot konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ pilnveidošanu, šī pētījuma ietvaros tika izveidota jauna un uzlabota modeļa versija METQUL2012, kas tika izstrādāta Latvijas Lauksaimniecības universitātes Meža un ūdens resursu

zinātniskajā laboratorijā, un ir pamats šī promocijas darba tapšanai. Modeļa galvenais papildinājums ir urbānās hidroloģiskās atbildes vienības integrācija aprēķina algoritmā (Bakute, Grinfelde, & Lagzdins, 2017; I. Grinfelde & Bakute, 2017; Inga Grinfelde & Lauva, 2012).

Pētījuma vajadzībām 2012.gada sākuma tika izveidota modelēšanas platforma METQUL2012(Inga Grinfelde & Lauva, 2012), kas atvieglo konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ kalibrāciju, validāciju un izmantošanu ikdienas caurplūduma aprēķiniem noteiktā laika vienībā. Modelēšanas platformas METQUL2012 izveidei par pamatu tika ņemta konceptuālā hidroloģiskā modeļa versija METQ0203. Papildus tika izveidots autokalibrācijas bloks, kur parametru kalibrācijai ir iespējams izmantot septiņus autokalibrācijas algoritmus (Neldera Mīda algoritms (*Nelder-Mead algorithm NEL*)); Ģenētiskais algoritms (*Genetic algorithm GEN*); Levenberga Markuardta algoritms (*Levenberg-Marquardt algorithm LMA*); Kvazi-Ņūtona BFGS algoritms (*Quasi-Newton BFGS algorithm*); Kvazi-Ņūtona DFP algoritms (*Quasi-Newton DFP algorithm*); Fledčera konjugētā gradienta algoritms (*Conjugate gradient (FLETCHER) algorithm*); Polaka konjugētā gradienta algoritms (*Conjugate gradient (POLAK) algorithm*)) (Broyden, 1969; W C Davidon, 1959; William C Davidon, 1991; R. Fletcher, 1970; R. Fletcher & Powell, 1963; Gilbert & Nocedal, 1992; Goldfarb, 1970; Inga Grinfelde & Lauva, 2012; Levenberg, 1944; Marquardt, 1963; Nelder & Mead, 1965; Nocedal, 1992; Polak & Ribière, 1969; Polyak, 1969; Powell, 1987; Shanno, 1970).

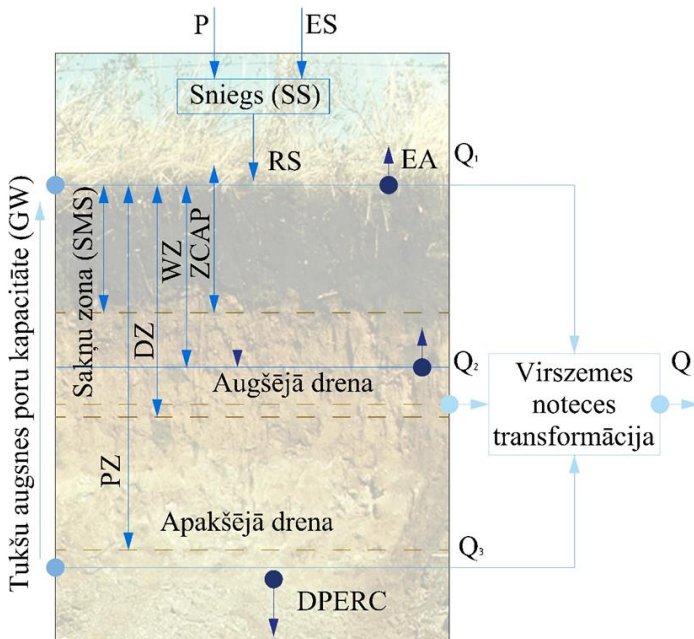
### 2.1.1. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ uzlabojumi

Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ noteces aprēķina konceptuālā shēma ir dota 2.2.att., kurā uzskatāmi tiek parādītas galvenās ūdens plūsmas. Ūdens bilances aprēķinos apjomīgs rādītājs ir ūdens uzkrājums hidroloģiskajā reakcijā, kā piemēram: sniega segā, augsnes aktīvajā slānī, gruntsūdenī un ar to saistītajā kapilārajā pacelšanās slānī.

Augšējam slānim, kas nosaukts par augsnes aktīvo slāni, šajā modelī nav precīzi definētas apakšējās robežas, toties ir norāde, ka tajā izvietojas augu sakņu galvenā daļa. Veģetācijas periodā šī slāņa summāro iztvaikošanu nosaka galvenokārt augu transpirācija. Savukārt, gruntsūdens krājumi šajā hidroloģiskajā modelī tiek raksturoti ar brīvo poru tilpuma slāni starp zemes virsmu un gruntsūdens līmeni. Katras hidroloģiskās atbildes vienības (*hydrological response unit*) noteci raksturo ar šādām komponentēm:  $Q_1$  – virszemes notece;  $Q_2$  – augsnes notece;  $Q_3$  – dziļā pazemes notece no slāņiem, kas drenējas apskatāmajā upes baseinā. Hidrogrāfiskajā tīklā šīs noteces komponentes apvienojas un transformējas izlīdzinātā upju notecē –  $Q$ . Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ plūsmas diagramma ir dota 2.3.att. Šī koncepcija ir izmantojama neizpētītām upēm, kur ir zināms hidroloģisko atbildes



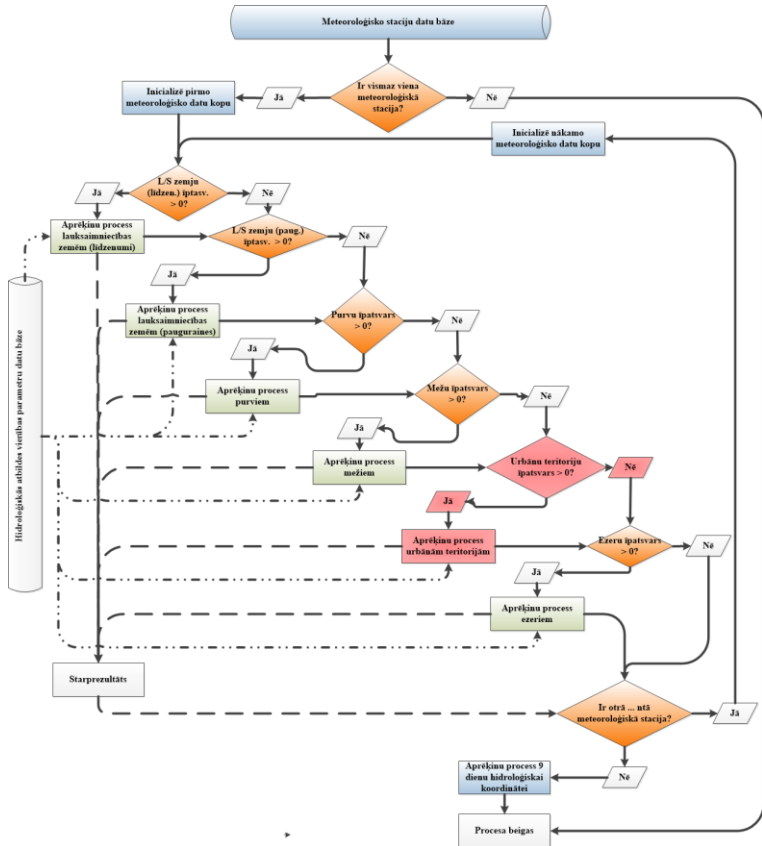
vienību īpatsvars un tiek izmantoti noklusētie parametri katrai hidroloģiskās atbildes vienībai. Modelis paredz iespēju izmantot vairāku meteoroloģisko staciju datus, kur katrai stacijai iespējams definēt procentuālo īpatsvaru konkrētās ūdensteces sateces baseinā. Modelis aprēķina algoritmu atkārtoti katrai hidroloģiskajai atbildes vienībai un meteoroloģiskajai stacijai, uzkrājot noteces moduļa datus nākamajam aprēķina posmam. Promocijas darba vajadzībām modelēšanas platformā METQUL2012 tika iebūvēta urbānā hidroloģiskās atbildes vienība, kuras parametru kalibrācija tika veikta otrajā konceptuālā hidroloģiskā modeļa attīstības posmā. Nākamais aprēķina posms saistīts ar caurplūduma aprēķinu ūdensteces gultnes vērūmā un plūsmas sadalījumu sateces baseinā, ko nosaka ģeoloģiskie un ģeomorfoloģiskie apstākļi. Aprēķins tiek veikts katrai dienai saskaņā ar vienības hidrogrāfa koordinātām, kas apraksta virszemes noteces proporcionālo sadalījumu pa dienām.



2.2.att. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ hidroloģiskās atbildes vienības aprēķina principiālā shēma

*P* – nokrišņi,  $mm\ dnn^{-1}$ ; *ES* – iztvaikošana no sniega,  $mm\ dnn^{-1}$ ; *RS* – lietu un

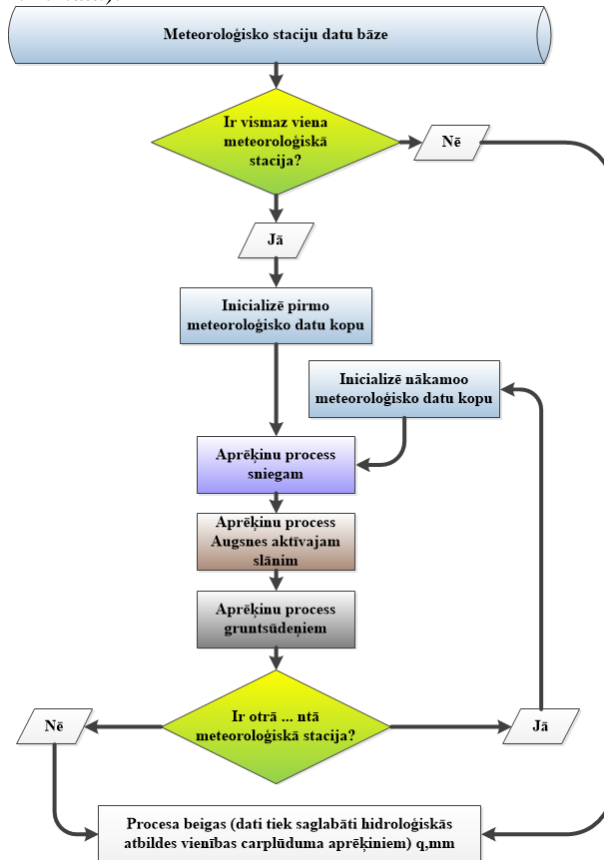
sniega kušanas ūdens,  $\text{mm dnn}^{-1}$ ; EA – iztvaikošana no augsnes aktīvā slāņa,  $\text{mm dnn}^{-1}$ ; SMS – ūdens saturs augsnes aktīvajā slānī,  $\text{mm}$ ; Z – dziļums no zemes virsas,  $\text{cm}$ ; PZ – drenētā slāņa biezums,  $\text{cm}$ ;  $Q_1, Q_2, Q_3$  – noteces komponentes,  $\text{mm dnn}^{-1}$ ; RCH – ūdens pārplūde no augsnes aktīvā slāņa uz gruntsūdens horizontu,  $\text{mm dnn}^{-1}$ ; CAP – kapilārā pacelšanās,  $\text{mm dnn}^{-1}$ ; SS – ūdens saturs sniegā,  $\text{mm}$ ; GW – brīvo grunts poru tilpums,  $\text{mm}$ ; DZ – augšējā slāņa biezums,  $\text{cm}$ ; ZCAP – kapilārās pacelšanās augstums,  $\text{cm}$ ; WZ – gruntsūdens dziļums,  $\text{cm}$



2.3.att. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ plūsmas diagramma

Hidroloģiskās atbildes vienības aprēķina algoritms sastāv no trim aprēķinu blokiem: sniega veidošanās un kušanas aprēķina, aprēķina augsnes aktīvajam

slānim un aprēķina gruntsūdeņiem. Katras hidroloģiskās atbildes vienības dati tiek saglabāti, lai tālāk izmantotu caurplūduma aprēķiniem ūdensteces gultnes vērūmā (skat. 2.4.att.).



2.4.att. Konceptuālā modeļa METQ hidroloģiskās atbildes vienības aprēķina plūsmas diagramma

Noslēdzošajā aprēķina posmā tiek aprēķināts caurplūdums katrai hidroloģiskajai atbildes vienībai proporcionāli meteoroloģisko staciju pārklājumam, un veikts caurplūduma korekcijas aprēķins, atbilstoši vienības hidrogrāfa koordinātēm, ja lejtecē ir ezers vai ūdenskrātuve, papildus tiek veikts plūsmas transformācijas aprēķins.

Daļbasiena kopējo noteci aprēķina pēc 1.formulas, kur uzlabotajā modeļa versijā tika pievienota urbānā hidroloģiskā atbildes vienība:

$$Q = \frac{(Q_{ALL} \cdot W_{ALL} + Q_{AHL} \cdot W_{AHL} + Q_F \cdot W_F + Q_B \cdot W_B + Q_L \cdot W_L + Q_U \cdot W_U)}{100}, \quad (1)$$

kur

$Q$  – kopējā baseina notece, mm d<sup>-1</sup>;

$Q_{ALL}$  – līdzenu lauksaimniecības zemju notece, mm d<sup>-1</sup>;

$Q_{AHL}$  – lauksaimniecībā izmantojamo pauguraiņu notece, mm d<sup>-1</sup>;

$Q_F$  – notece mežiem, mm d<sup>-1</sup>;

$Q_B$  – notece purviem, mm d<sup>-1</sup>;

$Q_L$  – notece ezeriem, mm d<sup>-1</sup>;

**$Q_U$  – notece urbānajām teritorijām, mm d<sup>-1</sup>;**

$W_{ALL}$ ,  $W_{AHL}$ ,  $W_F$ ,  $W_B$ ,  $W_L$ ,  $W_U$  – minēto elementārbaseinu veidu īpatsvars attiecīgajā daļbaseinā, kuru summa ir 100%.

### 2.1.2. Pētījuma vajadzībām izveidotā modelēšanas platforma METQUL2012

Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ modelēšanas platformu METQUL2012 veido sešas secīgas darba virsmas, kas ļauj veikt, ikdienas caurplūduma modelēšanu un modeļa parametru kalibrāciju un validāciju. Atverot modelēšanas platformu, darbu uzsāk izvēlnē METEO. Šajā izvēlnē, kā noklusētā darbība ir uzstādīta, caurplūduma modelēšana konkrētā gultnes vērūmā, taču modelēšanas platforma METQUL2012 paredz iespēju pārslēgties uz gruntsūdens līmeņu modelēšanu. Šajā pētījumā tika izmantota caurplūdumu konkrētā gultnes vērūmā modelēšanas izvēlne, tādēļ turpmākais izklāsts attieksies uz caurplūduma modelēšanu.

Izvēlnē METEO ir iespēja definēt caurplūduma modelēšanai izmantojamās meteoroloģisko datu kopas, modelī ir iebūvēta iespēja izmantot vienu vai vairākas meteostacijas, kuru svaru summai ir jābūt 1,0. Obligāti nepieciešams definēt sateces baseina platību gultnes aprēķina vērūmā, un tiek piedāvāta iespēja saglabāt sateces baseina parametrus modelēšanas platformas METQUL2012 datu bāzē. Pēc noklusējuma tiek pieņemts, ka sateces baseina lejtecē nav ezers vai ūdenskrātuve, taču ja sateces baseina lejtecē ir ezers vai ūdenskrātuve ir iespējams definēt tā parametrus un modelis aprēķinās plūsmas transformāciju. Noslēgumā obligāti jāaktivizē poga SET METEO, kas modelim liek ielasīt datus atmiņā, lai turpmāk izmantotu modelēšanas procesā.

Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ modelēšanas platformas METQUL2012 izvēlne CALIBRATION, lietotājam dod iespēju automātiski vai manuāli definēt hidroloģiskās atbildes vienību īpatsvaru apskatāmajā sateces baseinā *Subbasin*. Automātiski vai manuāli definēt vienības hidrogrāfa koordinātes *9 day Q hydro coordinates*, kā arī manuāli mainīt katras hidroloģiskās atbildes vienības parametru vērtības *Calibration*, var izmantot

noklusētās vērtības (Ziverts, 2006). Tāpat visās iepriekšminētajās pozīcijās pastāv iespēja saglabāt definētās vērtības vai izmantot jau iepriekšdefinētas vērtības. Noslēgumā var izvēlēties modelēto caurplūdumu grafisko attēlojumu, un obligāti jāaktivizē poga RUN METQ. Modelis veic aprēķinu saskaņā ar iepriekšējā apakšnodalā aprakstīto algoritmu un saglabā aprēķina rezultātus.

Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ modelēšanas platformas METQUL2012 izvēlne ADD FILES ir izveidota, lai atvieglotu meteoroloģisko datu un novēroto caurplūdumu ievadi. Ir nepieciešams manuāli definēt meteoroloģisko vai caurplūduma datu rindas sākuma datumu un faila nosaukumu, kas tiks saglabāts modelēšanas platformas arhīvā. Papildu nosacījums ir nepārtraukta datu rinda bez iztrūkstošām datu rindām, un meteoroloģisko datu rindām ir jābūt vienāda garuma. Pēc visu iepriekšminēto darbības veikšanas obligāti jāaktivizē ADD poga. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ modelēšanas platformas METQUL2012 jaunievedums ir autokalibrācijas izvēlne AUTOCALIBRATION, kas ļauj veikt autokalibrāciju izmantojot septiņus dažādus autokalibrācijas algoritmus, (Neldera Mīda algoritms (*Nelder-Mead algoritm NEL*); Ģenētiskais algoritms (*Genetic algorithm GEN*); Levenberga Markuardta algoritms (*Levenberg-Marquardt algorithm LMA*); Kvazi-Ņūtona BFGS algoritms (*Quasi-Newton BFGS apgorithm*); Kvazi-Ņūtona DFP algoritms (*Quasi-Newton DFP apgorithm*); Fledčera konjuētā gradienta algoritms (*Conjugate gradient (FLETCHER) algorithm*); Polaka konjuētā gradienta algoritms (*Conjugate gradient (POLAK) alghorithm*)) (Broyden, 1969; W C Davidon, 1959; William C Davidon, 1991; R. Fletcher, 1970; R. Fletcher & Powell, 1963; Gilbert & Nocedal, 1992; Goldfarb, 1970; Inga Grinfelde & Lauva, 2012; Levenberg, 1944; Marquardt, 1963; Nelder & Mead, 1965; Nocedal, 1992; Polak & Ribière, 1969; Polyak, 1969; Powell, 1987; Shanno, 1970). Autokalibrāciju var veikt vienam vai vairākiem konkrētās hidroloģiskās atbildes vienības parametram. Papildu nosacījums ir meteoroloģisko datu kopai un novēroto caurplūdumu datu kopai jābūt vienāda garuma.

Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ modelēšanas platformas METQUL2012 izvēlne DATA EXPORT ļauj lietotājam izvēlēties nepieciešamos datus un tos eksportēt *excel* formātā. Lietotājam tiek dota iespēja izvēlēties eksportēt kopējo caurplūdumu un tā komponentes aprēķina gultnes vērumā, kā arī pastāv iespēja eksportēt katras hidroloģiskās atbildes vienības caurplūdumu un tā komponentes aprēķina gultnes vērumā.

Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ modelēšanas platformas METQUL2012 izvēlne HYDROGRAPH grafiski attēlo modelētos lielumus un ļauj grafiski novērtēt modelēšanas rezultātus.

## 2.2. Pētījumā izmantie dati un statistikas metodes

Pētījumā izmantotās datu kopas, statistikas metodes un to izmantošanas mērķis ir apkopots 2.1. tabulā.

### 2.1.tabula Pētījumā izmanto datu un statistikas metožu kopsavilkums

Publ. Nr.	Izmantotās datu kopas	Izmantotās statistikas metodes	Izmantošanas mērķis
I.	Vienzieme (1993-2015) klimata dati, Katram parametram modelētās vērtības	METQ modelis Hidrogrāfa grafiskā analīze, $R^2$ ; NSE; PBIAS un RSR, Hierarhiskā klāsteru analīze	Veikts METQ parametru jutīguma tests ar mērķi izdalīt parametrus urbānās hidroloģiskās atbildes vienības kalibrācijai.
II.	Amerikas Savienoto Valstu Geoloģiskās aģentūras (USGS) 6 urbānās sateces baseini ar platību no 9.76 km <sup>2</sup> līdz 183.63 km <sup>2</sup>	METQ modelis Hidrogrāfa grafiskā analīze $R^2$ ; NSE; PBIAS un RSR	Veikta METQ parametru kalibrācija urbānajai hidroloģiskajai atbildes vienībai
III.	Usmas ezera ūdens līmeņa dati no 1927-2014 gadam	Homogenitātes tests Aprakstošā statistika	Sagatavoti izejas dati METQ modeļa izmantošanai
IV.	12 klimata scenāriji Stendes stacijai Divi lineāri zemes lietojuma veida scenāriji	METQ modelis Aprakstošā statistika	Analizētas caurplūduma izmaiņas mēneša griezumā
V.	12 klimata scenāriji Stendes stacijai Divi lineāri zemes lietojuma veida scenāriji	METQ modelis Aprakstošā statistika Regresijas analīze	Analizētas izmaiņas caurplūduma ekstrēmajām vērtībām.
VI.	12 klimata scenāriji Ezera gultnes skanēšana izmantojot ADCP RiverRay Divi lineāri zemes lietojuma veida scenāriji	3D modelis METQ modelis Hidrauliskais modelis Aprakstošā statistika	Analizētas izmaiņas caurplūduma ekstrēmajām vērtībām.
VII.	N <sub>2</sub> O mērījumu dati ar CRDS iekārtu Picarro G2508	Lineārā regresija	Sagatavota un aprobēta metodika datu ievākšanai N <sub>2</sub> O no augsnēm modelēšanas vajadzībām
VIII.	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O un NH <sub>3</sub> mērījumu dati ar CRDS iekārtu Picarro G2508	Lineārā regresija	Sagatavota un aprobēta metodika datu ievākšanai CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O un NH <sub>3</sub> no augsnēm modelēšanas vajadzībām
IX.	N <sub>2</sub> O un N <sub>2</sub> O izotopu mērījumu dati ar CRDS iekārtu Picarro G2508 un iekārtu G5131i	Aprakstošā statistika	Sagatavota un aprobēta metodika datu ievākšanai N <sub>2</sub> O veidošanās posmu (nitrifikācija vai denitrifikācija) modelēšanas no augsnēm vajadzībām
X.	Literatūras studijas SEG emisiju aprēķina no augsnēm modelēšanai un METQ modeļa aprēķina algoritms	METQ modelis	Sagatavots risinājums SEG emisiju no augsnēm aprēķina moduļu integrācijai modeļi METQ

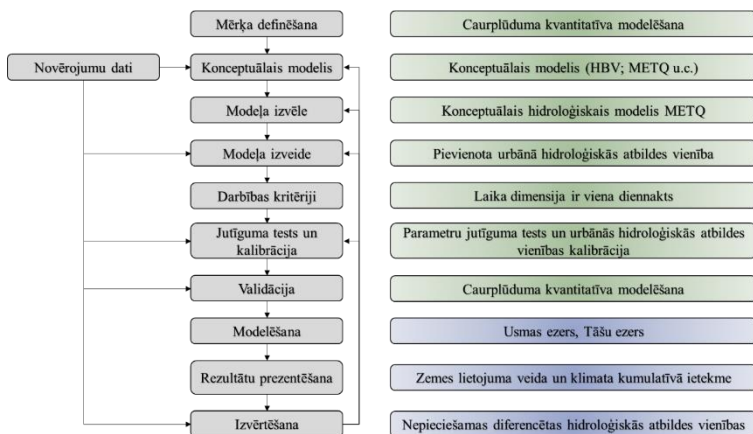
Izsekojamības nolūkos katrs modeļa pilnveides posms iezīmēts ar atbilstošu krāsu, kas sasaucas ar 1.1. un 2.1. attēlos parādītajiem pētījuma veikšanas posmiem.

### 3.REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Šajā nodaļā ir apkopoti galvenie promocijas darba pētījuma rezultāti, kas nosacīti iedalīti divās apakšnodaļās, kur pirmajā apakšnodaļā sniegti konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ urbānās hidroloģiskās atbildes vienības integrācijas un modeļa aprobācijas pētījumu rezultāti. Otrajā apakšnodaļā īsi aprakstīti SEG emisiju no augsnēm modelēšanai nepieciešamo datu ievākšanas metodika un SEG emisiju no augsnēm aprēķinu moduļu konceptuālais risinājums, to integrācijai konceptuālajā hidroloģiskajā modelī METQ.

#### 3.1. Urbānās hidroloģiskās atbildes vienības integrācija un modeļa aprobācija

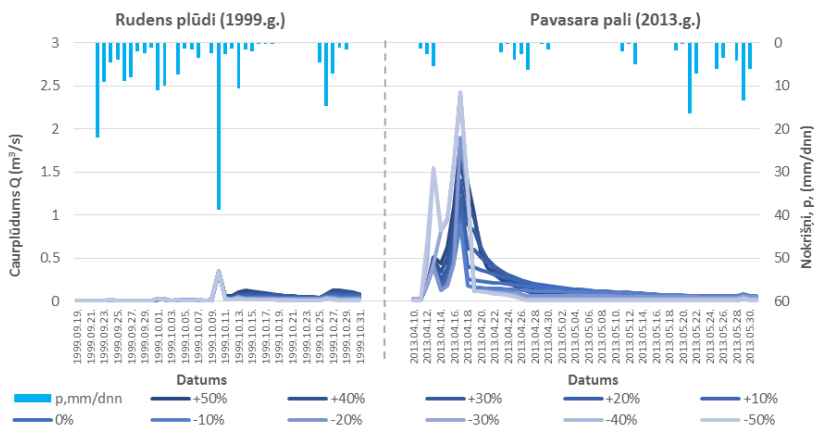
Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ pilnveides (I. un II. Publikācija) un izmantošana sarežģītu ūdenssaimniecības jautājumu risināšanā (III., IV., V., un VI.publikācija) tika izmantots modelēšanas darbu veikšanas ietvars, kas urbānās hidroloģiskās atbildes vienības integrācijas kontekstā tika iziets pilnā apmērā (skat 3.1. att.).



3.1.att. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ urbānās hidroloģiskās atbildes vienības integrācija un izmantošana saskaņā ar modeļu attīstības posmiem

Urbānā hidroloģiskā atbildes vienība modelī nodrošina caurplūduma kvantitatīvu modelēšanu un Latvijas apstākļos ieteicams ir izmantot konceptuālo hidroloģisko modeli METQ.

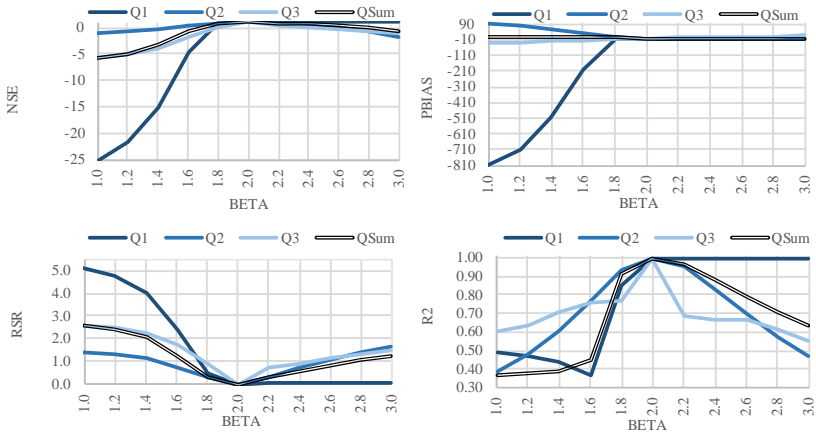
Lai sagatavotos urbānās hidroloģiskās atbildes vienības kalibrācijai, tika veikts konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ parametru jutīguma tests 23 parametriem (I.Publikācija). Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ parametra BETA jutīguma testa grafiskais piemērs ir sniegts 3.2.att. Noteces veidošanās parametra BETA vērtība parāda augstu jutību pret parametra vērtības izmaiņām īpaši pavasara palu periodā. Visas BETA parametra izmaiņas ir rūpīgi jānovērtē konceptuālā hidroloģiskā modeļa kalibrēšanas procesā.



### 3.2.att. Parametra BETA jutīguma testa grafiskā analīze

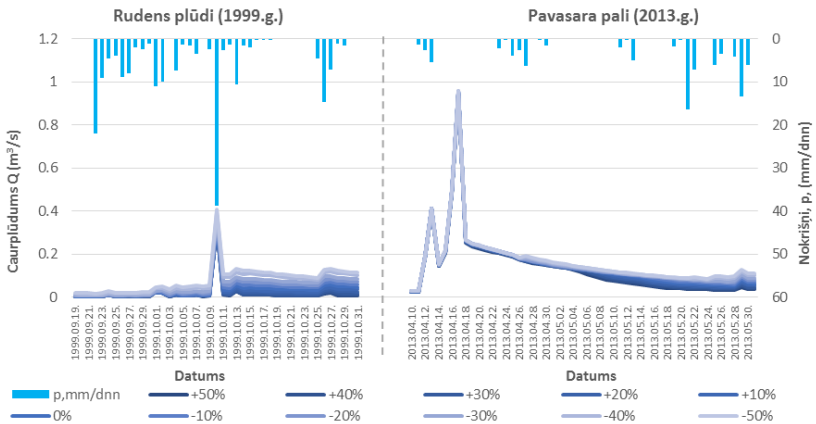
Noteces komponentu  $Q_1$ ;  $Q_2$ ;  $Q_3$  un kopējā noteces  $Q_{sum}$  izmaiņu analīze, mainot BETA parametru amplitūdā  $\pm 50\%$ , ir parādīta 3.3.att. NSE, RSR,  $R^2$  un PBIAS analīze parāda parametru BETA nozīmīgo ietekmi uz noteces komponenti  $Q_1$ .





3.3.att. Parametra BETA ietekmes uz konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ veiktspēju grafiskā analīze

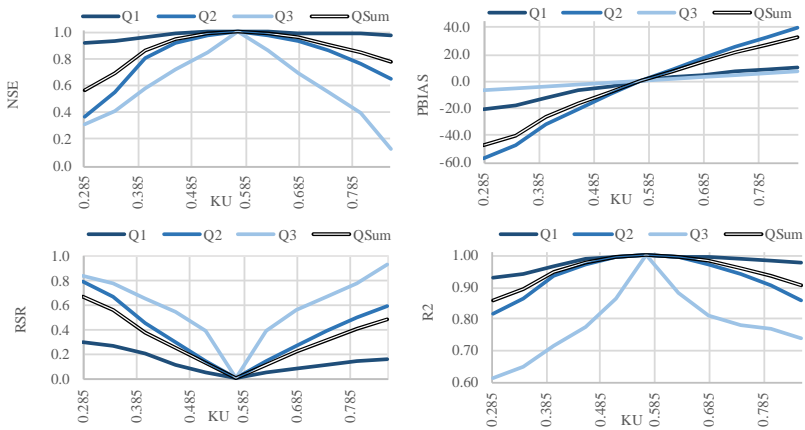
Parametra KU jutīguma testa rezultātu grafiskā analīze ir parādīta 3.4.att. Parametrs KU ir viens no aktīvā augsnes slāņa zonas parametriem, un tam ir izteikta ietekme uz ilgtermiņa noteci, savukārt nenozīmīga ietekme uz pavasaru paliem un vasaras rudens plūdiem.



3.4.att. Parametra KU jutīguma testa grafiskā analīze

Modelēto caurplūdumu komponentu  $Q_1$ ;  $Q_2$ ;  $Q_3$  un kopējo caurplūdumu  $Q_{sum}$

izmaiņu analīze, mainot parametru KU amplitūdā  $\pm 50\%$ , ir parādīta 3.5.att. Modeļa veiktspējas rādītāju NSE, RSR,  $R^2$  un PBIAS analīze parāda parametru KU ietekmi uz noteces komponenti  $Q_3$ .



3.5.att. Parametra KU ietekmes uz konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ veiktspēju grafiskā analīze

Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ parametri ALFA; CMELT; ROBK, BETA, DPREC, DZ, KU un ZCAP uzrāda paaugstinātu jutību, salīdzinot ar pārējiem parametriem. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQUL2012 kalibrēšanas laikā ir nepieciešams analizēt un izvērtēt parametru izmaiņas ne tikai no jutīguma skatupunkta, bet arī no modeļa konceptualitātes prizmas, lai parametru izmaiņas neizjauktu modelī iestrādātās hidroloģisko procesu konceptuālās algoritmu kopas. Nepieciešams izvērtēt padziļināti konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ dažādu parametru atšķirīgo ietekmi uz dažādu noteces komponentu modelēšanas rezultātiem. Turpmākā izpēte jākoncentrē uz konceptuālā hidroloģiskā modeļa parametru jutīguma analīzi attiecībā uz katru noteces komponenti ( $Q_1$ ;  $Q_2$ ;  $Q_3$ ).

Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ parametru jutīguma testa rezultātu hierarhiskās klasteru analīzes rezultātos iegūto klasteru vidējās vērtības modeļa veiktspējas parametriem NSE; RSR, PBIAS.  $R^2$  ir parādītas 3.1.tabulā. Parametru A2; A3; CFR; KS; PZ; RROB; RROB2; RROB2Z; T1; WHC; WMAX; ALFA; AMCOR; ROBK; RROBZ; CMELT; DPREC; KL; ZCAP; DZ un T2 vērtības maiņa par +50% konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ veiktspēju ietekmē ieteiktajās NSE; RSR, PBIAS.  $R^2$  vērtību robežās. Tomēr parametru BETA un KU izmaiņas par +50% ievērojami ietekmē konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQUL2012 veiktspējas rādītājus NSE; RSR, PBIAS  $R^2$  (Moriassi et al. 2007).

3.1.tabula Hierarhiskās klasteru analīzes rezultāti pēc  $R^2$ ; PBIAS; RSR; NSE vērtībām attiecībā uz noteces ( $Q_{sum}$ ) novirzi pie parametru izmaiņām par + 50%

Klase	Objekti	Klases starpība	$R^2$	PBIAS	RSR	NSE	Parametri
1	11	0.065	0.993	0.014	0.075	0.992	A2; A3; CFR; KS; PZ; RROB; RROB2; RROB2Z; T1; WHC; WMAX
2	4	0.020	0.966	0.409	0.207	0.957	ALFA; AMCOR; ROBK; RROBZ
3	1	0.000	0.630	-4.440	1.262	-0.591	BETA
4	1	0.000	0.828	1.075	0.431	0.814	CMELT
5	3	0.251	0.997	6.644	0.096	0.990	DPREC; KL; ZCAP
6	1	0.000	0.984	-8.498	0.159	0.975	DZ
7	1	0.000	0.907	33.507	0.478	0.771	KU
8	1	0.000	0.901	-2.972	0.327	0.893	T2

Parametru A2; AMCOR; RROB; RROBZ; T2; A3; CFR; KL; KS; PZ; RROB2; RROB2Z; T1; WHC un WMAX vērtības maiņa par -50% konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQUL2012 veiktspēju ietekmē ieteiktajās NSE; RSR, PBIAS.  $R^2$  vērtību robežās (sk. 3.2.tabulā). Tomēr astoņu parametru ALFA; CMELT; ROBK; BETA; DPREC; DZ; KU un ZCAP maiņa par -50% būtiski ietekmē konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ rezultātus un pārsniedz NSE; RSR, PBIAS,  $R^2$  vērtību robežas (Moriasi et al. 2007). Trešais līdz astotais klasteris uzrāda vienas vai vairāku  $R^2$ ; PBIAS; RSR; NSE vērtību neatbilstību noteiktajām robežām, kas liecina par parametru jutīgumu un būtiski ietekmi uz modeļa veiktspēju. Savukārt otrajā un pirmajā klasterī ietilpstošie parametri pēc  $R^2$ ; PBIAS; RSR; NSE vērtībām, katrs atsevišķi neuzrāda būtisku ietekmi uz modeļa veiktspēju.

3.2.tabula Hierarhiskās klasteru analīzes rezultāti pēc R<sup>2</sup>; PBIAS; RSR; NSE vērtībām rezultāti attiecībā uz noteces (Q<sub>sum</sub>) novirzi pie parametru maiņas par – 50%

Klase	Objekti	Klases starpība	R <sup>2</sup>	PBIAS	RSR	NSE	Parametri
1	5	0.036	<b>0.936</b>	<b>0.901</b>	<b>0.266</b>	<b>0.928</b>	A2; AMCOR; RROB; RROBZ; T2
2	10	0.033	<b>0.992</b>	<b>-0.729</b>	<b>0.079</b>	<b>0.991</b>	A3; CFR; KL; KS; PZ; RROB2; RROB2Z; T1; WHC; WMAX
3	3	0.099	0.802	-2.443	0.525	0.717	ALFA; CMELT; ROBK
4	1	0.000	0.371	10.706	2.615	-5.841	BETA
5	1	0.000	0.995	-16.559	0.202	0.959	DPRKS
6	1	0.000	0.536	7.992	1.375	-0.890	DZ
7	1	0.000	0.858	-47.038	0.656	0.570	KU
8	1	0.000	0.989	-10.105	0.153	0.977	ZCAP

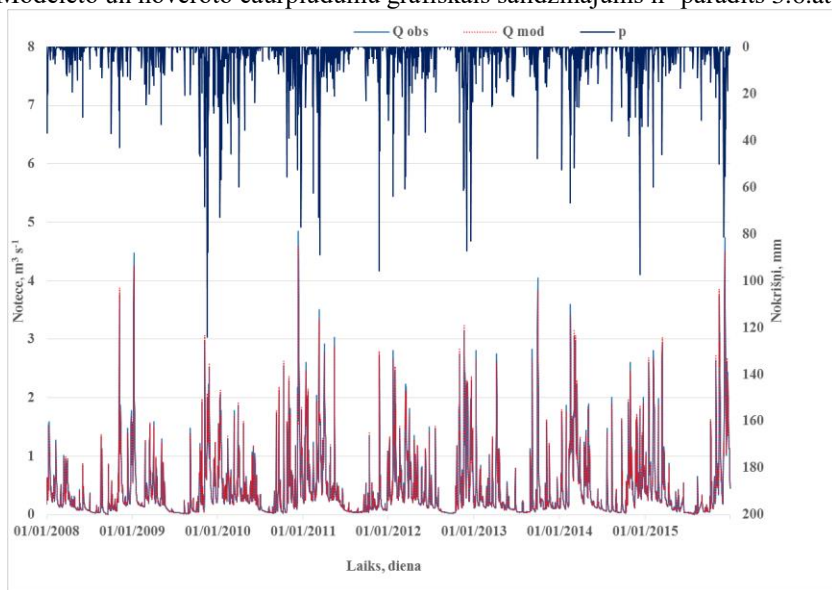
Urbānās hidroloģiskās atbildes vienības kalibrācija un validācija veikta 6 urbāniem sateces baseiniem (II.Publikācija). Kalibrācijas un validācijas rezultāti ir apkopoti 3.3.tabulā. NSE visiem sateces baseiniem ir pieņemams (Moriassi et al., 2007) un mainās robežās no 0.69 līdz 0.96 kalibrēšanas periodam un no 0.67 līdz 0.91 validācijas periodam. R<sup>2</sup> ir pieņemams visiem sateces baseiniem visos periodos (Moriassi et al., 2007) un variē no 0.81 līdz 0.98 kalibrēšanas periodam un no 0.95 līdz 0.79 validācijas periodam.

3.3.tabula Urbānās hidroloģiskās atbildes vienības kalibrācijas un validācijas rezultāti

Sateces baseins	Kalibrācijas periods				Validācijas periods			
	NSE	R <sup>2</sup>	RSR	PBIAS	NSE	R <sup>2</sup>	RSR	PBIAS
NY_BO	0.69	0.81	0.69	-23.63	0.67	0.79	0.70	-24.87
NY_VA	0.78	0.91	0.47	11.67	0.79	0.91	0.44	10.18
WA_SP	0.82	0.93	0.31	-3.03	0.80	0.92	0.30	-3.48
WA_MI	0.96	0.98	0.21	-1.07	0.91	0.95	0.24	-2.11
MI_EC	0.76	0.87	0.43	14.86	0.73	0.84	0.49	16.36
MI_PA	0.72	0.84	0.40	17.01	0.75	0.87	0.42	15.28

NY\_BO uzrāda labākus modelēšanas rezultātus kalibrēšanas periodā. Tomēr MI\_PA ir labāki rezultāti validācijas periodam nekā kalibrācijas periodam. Modeļa kalkulācijas precizitāti ietekmē vairāki faktori: nokrišņu datu precizitāte;

caurplūdumu mērījumu precizitāte un upes gultnes apstākļi (Benedetti et al., 2012; Cuo, Lettenmaier, Alberti, & Richey, 2009; Meng, 2022). Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ parametrus A2; A3; CMELT; DZ; PZ; RROB; RROBZ; RROB2; RROBZ2; ROBK; DPREC; AMCOR; BETA ieteicams kalibrēt dabiskajos sateces baseinos (A. Ziverts & Jauja, 1999), un pārējie parametri ir nemainīgi. Veicot urbānās hidroloģiskās atbildes vienības parametru kalibrēšanu, tika pieņemts lēmums papildus kalibrēt parametrus (WMAX; ALPHA; ZCAP; KU; KL; T1; T2; KS; WHC; CFR; AMCOR). Pilsētās ir liela virsmas nevienādība un traucēta straumes veidošanās, kā arī atšķirīgs mikroklimats (Burszta-Adamiak, Biniak-Pieróg, Dąbek, & Sternik, 2023; Techapinyawat, Goulden-Brady, Garcia, & Zhang, 2023; Van de Ven, 1990). Modelēto un novēroto caurplūdumu grafiskais salīdzinājums ir parādīts 3.6.att.



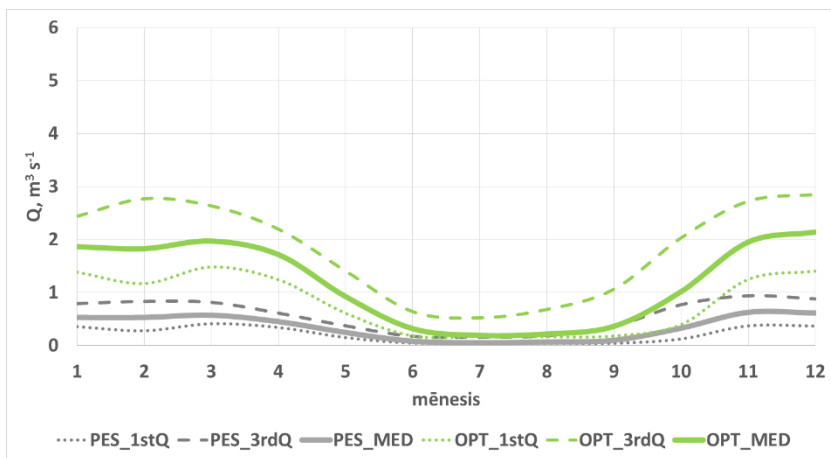
3.6..att. WA\_MI sateces baseina novērotie nokrišņi un novērotie un modelētie caurplūdumi

Modelētais un novērotais caurplūdums hidrogrāfā uzrāda labu atbilstību, tomēr ir vērojama maksimālo caurplūdumu modelēto rezultātu nesakrītība ar novērotajiem.

Šī nenoteiktība ir saistīta ar mērījumu precizitāti un lietus intensitāti un izplatību sateces baseinā. Parametri WMAX, ALPHA, ZCAP, T1, T2, KS, DZ, PZ, DPREC, BETA uzrāda būtiskas atšķirības – vairāk nekā 20% starp sateces baseiniem un dažos gadījumos vairāk nekā 40%. Šī variācija ir saistīta ar zemes

seguma nevienādīgumu, lietus ūdens savākšanas sistēmu vēsturisko attīstību un urbanizācijas blīvumu (Burszta-Adamiak et al., 2023; Techapinyawat et al., 2023; Van de Ven, 1990). Turpmākos pētījumos nepieciešams klasificēt pilsētu sateces baseinus pa segtajām teritorijām un izstrādāt vismaz trīs pilsētas hidroloģiskās atbildes vienību parametru kopas, kā arī integrēt aprēķina algoritmu konceptuālajā hidroloģiskajā modelī METQUL 2012.

Klimata un zemes lietojuma veida scenāriju modelēšanas rezultāti liecina, ka ārkārtīgi lieli caurplūdumi ir saistīti ar lietus gadījumiem nekā sniega kušanu (III. IV. un V. Publikācija). Minimālie noteces periodi kļūst garāki un biežāki. 30 gadus mēneša vidējā vērtība 1.kvartile un 3.kvartile no 2070. gada līdz 2100. gadam klimatiskajiem scenārijiem ar palielinātām meža platībām (pesimistiskais (PES)) un palielinātām lauksaimniecības un urbānām teritorijām (optimistiskais (OPT)) zemes izmantošanas scenārijiem ir attēlota 3.7.att.



3.7.att. Zemes lietošanas veida scenāriju un klimata scenārija ietekme uz mēneša vidējiem caurplūdumiem Usma ezera sateces baseinā

Pētījuma rezultāti liecina par būtisku zemes izmantošanas izmaiņu ietekmi uz Usma ezera hidroloģisko režīmu visos divpadsmit klimatiskajos scenārijos.

Usma ezera modelēto aprēķina caurplūdumu vidējās aritmētiskās vērtības lielākajā daļā no analizētajiem klimatiskajiem scenārijiem ir prognozētas lielākas optimistiskā zemes lietojuma scenārija gadījumā, t.i., pieaugot lauksaimniecībā izmantojamo zemju platībām un palielinoties urbanizācijai. Usma ezera modelētajiem vidējiem caurplūdumiem 30 gadu laika periodā (2070.-2100.g.) tendencei pieaugt ir 6 no 12 klimatiskajiem scenārijiem neatkarīgi no zemes lietojuma veida scenārija, taču 8. klimatiskā scenārija gadījumā prognozēts caurplūduma tendences pieaugums, izpildoties optimistiskā zemes lietojuma

veida scenārijam un tendences samazinājums – izpildoties pesimistiskajam scenārijam Usmas ezera modelētajiem maksimālajiem caurplūdumiem 30 gadu laikā (2070.-2100.g.) tendencei pieaugt ir 7 no 12 klimatiskajiem scenārijiem neatkarīgi no zemes lietojuma veida scenārija, taču 1. klimatiskā scenārija gadījumā prognozēts caurplūduma tendences pieaugums, izpildoties optimistiskā zemes lietojuma veida scenārijam un tendences samazinājums – izpildoties pesimistiskajam scenārijam.

Usmas ezera modelētajiem minimālajiem caurplūdumiem 30 gadu laikā (2070.-2100.g.) tendencei pieaugt ir tikai 2 no 12 klimatiskajiem scenārijiem neatkarīgi no zemes lietojuma veida scenārija, un 2 no 12 klimatisko scenāriju gadījumiem prognozēts caurplūduma tendences pieaugums, izpildoties optimistiskā zemes lietojuma veida scenārijam un tendences samazinājums – izpildoties pesimistiskajam scenārijam;

Visos klimatiskajos scenārijos gada aukstajā periodā notecē ir lielāka optimistiskā zemes izmantošanas scenārijā, kur urbanizēto platību īpatsvars palielinās, tas izskaidrojams ar ūdens necaurļaidīgo zonu palielināšanos un infiltrācijas samazināšanos. Pesimistiskie zemes izmantošanas scenāriji, palielinot meža platību Usma ezera sateces baseinā, var būtiski ietekmēt hidroloģisko režīmu visos divpadsmit klimatiskajos scenārijos, samazinot kopējo noteci, kas ir saistīta ar evapotranspirāciju meža teritorijās. Pesimistiskais zemes izmantošanas scenārijs visiem klimata scenārijiem, samazina noteci, un turpmākos pētījumus var vērst uzmanību uz hidroloģiskā režīma izmaiņu ietekmi uz mazo hidroelektrostaciju efektivitāti.

Tāšu ezera ūdens līmeņa svārstības saglabā sezonālu raksturu, kur ūdens līmeņa paaugstināšanās rudens-ziemas periodā, mijās ar ūdens līmeņa pazeminājumu vasarā (VI. Publikācija). Visos scenārijos caurtekas/regulatora esošais pārgāznes platums 0.8m nespēj nodrošināt ūdens līmeņa režīmu, kas atbilstu Ālandes upes, kā valsts nozīmes ūdensnotekas funkcijām. Analizējot Tāšu ezera ūdens līmeņa svārstības gada griezumā nākotnes klimata scenāriju modelētās vērtības pie pārgāznes platuma 0.8m spēj nodrošināt gada ūdens līmeņa svārstību amplitūdu no 17.60 līdz 18.3 m LAS 2000.5, kas nav pietiekoši, lai nodrošinātu valsts nozīmes ūdensnotekas Ālandes upe funkcionalitāti. Analizējot Tāšu ezera ūdens līmeņa svārstības gada griezumā nākotnes klimata scenāriju modelētās vērtības pie pārgāznes platuma 2.0 m spēj nodrošināt gada ūdens līmeņa svārstību amplitūdu no 17.60 līdz 18.00 m LAS 2000.5, kas ir pietiekoši, lai nodrošinātu valsts nozīmes ūdensnotekas Ālandes upe funkcionalitāti.

### **3.2. SEG emisiju no augsnēm modeļēšanas iespējas**

Kopš 2016.gada tiek veikti regulāru SEG emisiju mērījumi no augsnēm laboratorijas un lauka apstākļos. Kopš 2017. gada dati tiek ievākti pēc metodikas

kas izstrādāta šī pētījuma ietvaros (VII. un VIII. Publikācija). Kopš 2018.gada ir uzsākta sistemātiska N<sub>2</sub>O izotopu mērījumu datu ievākšana un uzkrāšana (IX. Publikācija)

Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ uzbūve un SEG emisiju aprēķina algoritmu integrācijas iespējas tiek izvērtētas no konceptualitātes prizmas un identificēti četri galvenie posmi, kas nepieciešami SEG emisiju aprēķinu moduļa veiksmīgai integrācijai konceptuālajā hidroloģiskajā modelī METQ (X.Publikācija).

Pirmajā posmā nepieciešams izvērtēt SEG emisiju modelēšanai nepieciešamo datu kopu atlases iespējas no konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ starprezultātiem, kā arī papildus parametru un datu rindu nepieciešamību SEG emisiju modelēšanai. Otrajā posmā jāizvērtē konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ esošie algoritmi un jāizveido konceptuāls risinājums SEG emisiju moduļa integrācijai vai papildus algoritmu izveidei. Trešajā posmā katrai SEG gāzei tiek izveidots aprēķina algoritms kas izmanto konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ augsnes aktīvā slāņa aprēķinu starprezultātus un papildus parametrus kas saistīti SEG emisiju aprēķinam. Ceturtais solis ir ilgtermiņa pasākums, kur gāzu mērījumi lauka apstākļos tiek izmantoti izveidoto SEG emisiju aprēķinu moduļa kalibrācijā. Šajā pētījumā tiks aprakstīti pirmie divi soļi un aprakstīts moduļa integrācijas konceptuālais risinājums.

SEG aprēķina moduļi ir jāiedala divās grupās, pirmā moduļu grupa ir emisijas no augsnes, kur SEG aprēķina moduļus ir iespējams pieslēgt konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ aprēķina algoritmiem. SEG aprēķinu moduļi jāveido ogļskābajai gāzei, metānam un dislāpekļa oksīdam atsevišķi (skat. 3.8.att).

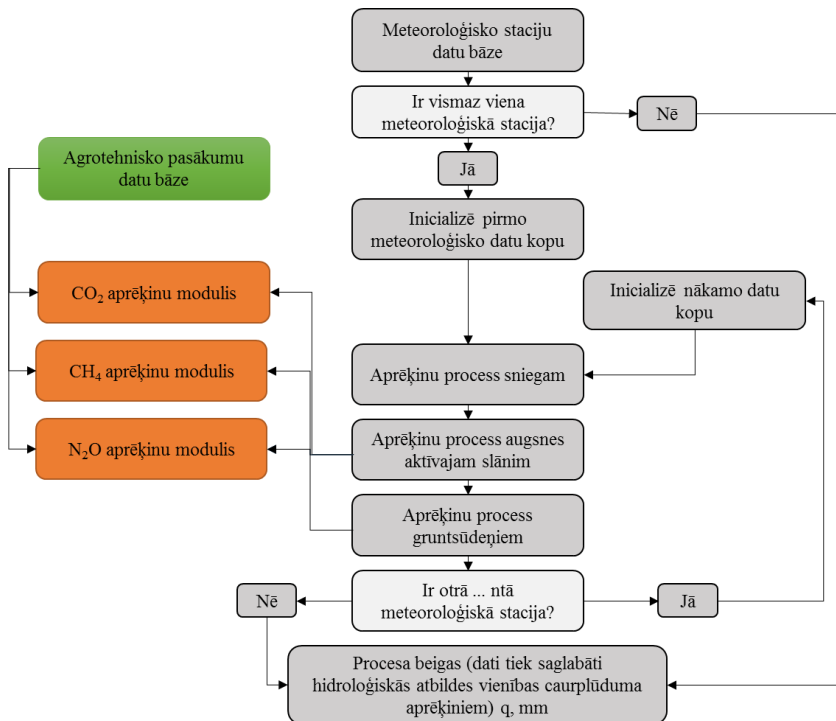
Analizējot galvenos faktorus, kas veicina CO<sub>2</sub> emisijas no augsnes ir vairāki. Augsnes granulometriskajam sastāvam ir būtiska ietekme uz CO<sub>2</sub> emisijām, jo granulometriskais sastāvs tieši ietekmē augsnes porainību (Bouma & Bryla, 2000). Nokrišņi būtiski ietekmē augsnes elpošanu un kopā ar augsne granulometrisko sastāvu veido augsnes mitruma režīmu, kas tieši ietekmē rizosfēras aktivitāti un nosaka CO<sub>2</sub> emisiju apmērus (Borken & Matzner, 2009). Tāpat nokrišņiem iefiltrējoties augsnē un izspiežot no augsnes porām gaisu tiek izspiest CO<sub>2</sub> tādējādi veidojot CO<sub>2</sub> emisiju pīķi. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ aprēķinu algoritmu kopa ir paredzēta aktīvā augsnes slāņa procesu aprēķiniem, kur veiksmīgi ir iespējams integrēt CO<sub>2</sub> aprēķinu moduli.

Metāna emisijas ir sarežģītāks process, kur svarīgākie faktori ir augsnes mitruma apstākļi un organiskās vielas daudzums un organiskās vielas sadalīšanās ātrums (Changsheng Li, Frolking, & Frolking, 1992). Taču paralēli metāna producēšanai notiek metāna patēriņš augsnē, kas ir cieši saistīts ar skābekļa pieejamību augsnē (C. Li, 2007). Iepriekšminētie faktori ļauj metāna aprēķina moduli integrēt konceptuālās hidroloģiskā modeļa METQ augsnes aktīvā slāņa un gruntsūdens aprēķina algoritmos.

Dislāpekļa oksīda emisiju aprēķinam no augsnes ir vissarežģītākais aprēķina



algoritms, jo ir cieši saistīts ar nitrifikācijas un denitrifikācijas procesiem, kas savukārt ir atkarīgs no tādiem faktoriem kā augsnes temperatūras, augsnes mitruma un pH (Blagodatsky & Richter, 1998). konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ augsnes aktīvā slāņa aprēķina algoritms ļauj ģenerēt starprezultātus, kas nepieciešami nitrifikācijas un denitrifikācijas procesu konceptuāliem aprēķiniem.

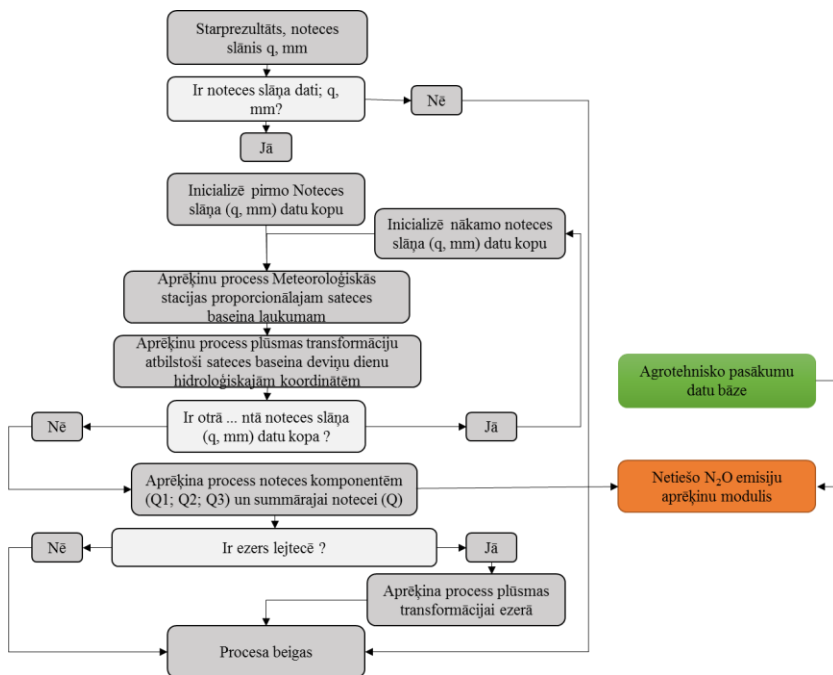


3.8.att. **Ogļskābās gāzes, metāna un dislāpekļa oksīda emisiju aprēķina moduļu integrācijas konceptuālajā modeli METQ**

Papildus esošajiem algoritmiem ir nepieciešams izveidot papildus aprēķinu moduli, kas izmantojot klimata datus, augsnes parametrus, un agrotehniskos apstākļus *farm management practice* spēj ģenerēt diennakts vidējo augsnes mitrumu un augsnes temperatūru. SEG emisiju aprēķina algoritmu veiksmīgai integrācijai ir ieteicams izmantot esošos konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ aprēķina algoritmus, kas ir detalizēti aprakstīti (Krams & Ziverts, 1993).

Savukārt otrā emisiju aprēķinu moduļu grupa ir netiešās N<sub>2</sub>O emisijas un metāna emisijas no ūdensobjektiem, kur SEG aprēķina algoritmu ir iespējams

pieslēgt konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ summārās noteces aprēķina algoritmam (skat.3.9.att.).



3.9.att. Netiešo dislāpekļa oksīda emisiju aprēķina moduļu integrācijas konceptuālajā modeli METQ

Analizējot pieejamo statistikas datu bāzu un zinātnisko pētījumu rezultātu informāciju, pašlaik iespējams izveidot  $N_2O$  aprēķina moduli. Tas izmantojot esošos lauksaimniecības noteču monitoringa datus, kas atspoguļo agrotehniskos apstākļus (*farm management practice*), un konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ noteces komponentu aprēķina algoritmu aprēķina netiešās  $N_2O$  emisijas.

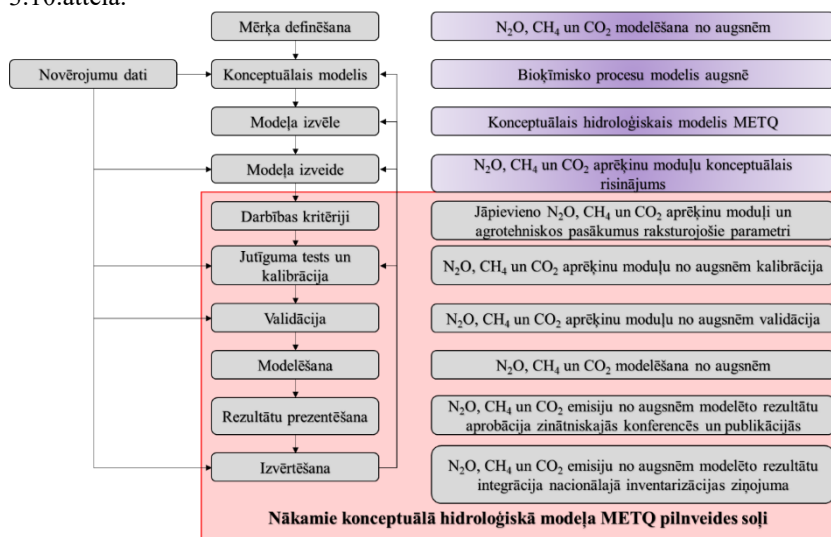
Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ modelēšanas platforma ļauj izmantot modeļa aprēķinu starprezultātus, tādus kā, gruntsūdens līmenis dienas beigās, kapilārā pacelšanās, summārā iztvaikošana u.c., kas nepieciešami SEG emisiju aprēķina algoritmos.

Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ algoritmi ir labi dokumentēti un ļauj integrēt SEG emisiju aprēķina moduļus ogļskābās gāzes, metāna un dislāpekļa oksīda emisiju aprēķinam no augsnes. Taču nepieciešams izveidot papildus parametru ievades iespējas, katram SEG emisiju no augsnes aprēķinu modulim.

SEG aprēķina integrācijai konceptuālajā hidroloģiskajā modelī METQ ir nepieciešams esošo modelēšanas platformu pārprogrammēt un izveidot atvērtu platformu jaunu aprēķinu moduļu pievienošanai. SEG modelēšanai no lauksaimniecības augsnēm, kur aprēķina pamatā ir nitrifikācijas un denitrifikācijas procesi augsnē, kā arī netiešā SEG modelēšana no ūdenstecēm, kur par pamatu tiek ņemtas slāpekļa noplūdes un nitrifikācijas un denitrifikācijas procesi ūdenī.

### 3.3. SEG emisiju moduļu integrācijas konceptuālajā hidroloģiskajā modelī METQ turpmākie pētījumu soļi

Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ uzlabošanas stratēģiskie ieguvumi saistās ar Latvijas klimatisko un hidroģeoloģisko apstākļu ņemšanu vērā dažādu sarežģītu jautājumu risināšanā. SEG emisiju moduļu integrācijas konceptuālajā hidroloģiskajā modelī METQ šī pētījuma ietvaros apstājas pie datu sagatavošanas un koncepta izstrādes. Nākamie pētījumu soļi ir prezentēti 3.10.attēlā.



3.10.att. SEG emisiju moduļu integrācijas konceptuālajā hidroloģiskajā modelī METQ turpmākie pētījumu soļi

Pamatojoties, ka promocijas darba veiktajiem pētījumiem ir nepieciešams attīstīt modelēšanas platformu, kas ir starpdisciplinārs uzdevums. Modelēšanas platformu ieteicams veidot tā, lai pastāv iespēja pieslēgt papildus moduļus dažādu ar hidroloģisko ciklu saistītu jautājumu modelēšanai. Primāri

nepieciešams izstrādāt atvērta tipa algoritmu, kur iespējams esošā modelēšanas algoritma starprezultātus izmantot jaunajos moduļos. Veidojot modelēšanas platformu, jāparedz iespēja izmantot jau esošos algoritmus jaunu starpvērtību radīšanai kā arī pieslēgt papildus izejas datu plūsmas.

Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ pilnveide ir jāfokusē uz diviem galvenajiem virzieniem. Hidroloģisko atbildes vienību diferenciāciju un iespēju palielināt hidroloģisko atbildes vienību skaitu urbānajās, lauksaimniecības un mežsaimniecības teritorijās. Otrs virziens ir SEG emisiju moduļu izveide un attīstība, kas sniegtu iespējas precīzi prognozēt SEG emisijas no augsnēm.

## 4.SECINĀJUMI UN PRIEKŠLIKUMI

1. Hidroloģisko procesu modelēšanā aktīvi tiek izmantoti vairāki simti modeļi, kas ir iedalāmi divās galvenajās grupās konceptuāli un fizikālie. Konceptuālo modeļu izmantošana dod precīzākus rezultātus sateces baseiniem ar platību virs 5 km<sup>2</sup>. SEG emisiju modelēšanā tiek izmantoti jaunizbūvēti modelēšanas rīki, taču veiksmīgi tiek izmantoti hidroloģiskie modeļi ar papildus algoritmu, kas ļauj modelēt gāzu emisijas un izceļas ar lielāku precizitāti dislāpekļa oksīda modelēšanā mērenajā klimata joslā, kur novērojama augsnes sasalšana ziemas periodā;
2. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ aprēķina algoritms ļauj integrēt neierobežotu daudzumu hidroloģisko atbildes vienību, kas paver iespējas ne tikai integrēt urbāno hidroloģisko atbildes vienību, bet arī nākamajos konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ attīstības posmos, izdalīt vairākas urbānās hidroloģiskās atbildes vienības, kas katra kalibrēta dažādam ūdensnecaurlaidīgo virsmu īpatsvaram un urbānās teritorijas hidromorfoloģiskajām īpašībām;
3. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ modelēšanas platforma ļauj saglabāt un aprēķina algoritmā izmantot modeļa aprēķinu starprezultātus, tādus kā, gruntsūdens līmenis dienas beigās, kapilārā pacelšanās, summārā iztvaikošana u.c., kas nepieciešami SEG emisiju aprēķina algoritmos;
4. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ modelēšana platforma METQUL2012 ir izveidota un validēta. Optimālākos kalibrācijas rezultātus uzrādīja Neldera-Mīda algoritms, kas saskan ar citu autoru rezultātiem;
5. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ parametru jutīguma tests parāda, ka modeļa parametri ALFA; CMELT; ROBK; BETA; DPREC; DZ; KU un ZCAP ir jākalibrē īpaši rūpīgi, lai saglabātu aprēķina

- algoritma konceptuālo jēgu un tajā pašā laikā uzlabotu modeļa veikspēju;
6. Konceptuālā hidroloģiskā modeļa METQ urbānā hidroloģiskā atbildes vienība ir izveidota un integrēta modelī. Urbānās hidroloģiskās atbildes vienības kalibrācijas un validācijas rezultāti 6 urbānajiem sateces baseiniem ir pietiekoši  $NSE > 0.5$ ;  $R^2 > 0.75$ ;  $RSR < 0.70$  un  $PBIAS \pm 25\%$ , lai modeļa parametrus varētu izmantot neizpētītu urbāno sateces baseinu modelēšanai;
  7. SEG aprēķina integrācijai konceptuālajā hidroloģiskajā modelī METQ ir nepieciešams esošo modelēšanas platformu pārprogrammēt un izveidot atvērtu platformu jaunu aprēķinu moduļu pievienošanai. SEG modelēšanai no lauksaimniecības augsnēm, kur aprēķina pamatā ir nitrifikācijas un denitrifikācijas procesi augnē, kā arī netiešā SEG modelēšana no ūdenstecēm, kur par pamatu tiek ņemtas slāpekļa noplūdes un nitrifikācijas un denitrifikācijas procesi ūdenī;
  8. Konceptuālo hidroloģisko modeli METQ var izmantot ūdens kvalitātes pētījumos, kas tiek veikti, zinātniekiem sadarbojoties, starpnozaru līmenī. Modelēšanas rezultāti parāda, ka klimata mainībai un zemes lietojuma veida maiņai ir nozīmīga summārā ietekme uz virszemes noteci un tās komponentēm.

# 1.INTRODUCTION

More than half of the world's population lives in urban areas and U.N. population migration forecasts show that their share will partake 80% by 2030.(United Nations, 2019) The increase in population and urbanisation is leading to increasing reflection on sustainable resource management, including water, and adaptation to climate change(Saedi, Sharifi, Saremi, & Babazadeh, 2022).

Changes in land use patterns, especially urbanisation, have a significant impact on hydrological processes(Ajjur & Al-Ghamdi, 2022). As well as creating additional pollution loads and reducing water resources, urban areas also build water supply and sewerage infrastructure and develop flood protection systems(Crawford et al., 2022; Hernández-Hernández, Olcina, & Morote, 2020). In the event of heavy rainfall, local flooding is forming in urban areas, which is becoming increasingly intense and repetitive(Chen, Hill, & Urbano, 2009; Kang, Park, & Singh, 1998; X. Li et al., 2022; Mark, Weesakul, Apirumanekul, Aroonnet, & Djordjević, 2004; Schmitt, Thomas, & Ettrich, 2004). Residents from the poorest groups in society are most likely to suffer or lose their lives in floods, as well as material damage, measured at several billion dollars(Abdeljaber, Adghim, Abdallah, Ghanima, & ALjassem, 2022; Jonkman & Vrijling, 2008; Kron, Steuer, Löw, & Wirtz, 2012). In the European Union, flood risk mitigation measures are laid down in flood Directive 2007/60/EC(European Parliament, 2007), which requires Member States to carry out flood risk assessments and mapping of endangered areas.

Understanding the hydrological regime of urban areas is currently being developed and improved using monitoring data and modelling capabilities, but at least twenty years of hydrological regime data is required to use modelling tools (DeFries & Eshleman, 2004; Delleur, 2003; T. D. Fletcher, Andrieu, & Hamel, 2013; Praskievicz & Chang, 2009; Zhong et al., 2022). Modelling of hydrological processes in the urban catchment areas is difficult due to fragmented environments, specific hydrological regimes and hydrological processes specific to the urban environment (Meng, 2022; Rodriguez, Andrieu, & Zech, 2000). The urban environment generates changes in the hydrological cycle and at the same time responds very sensitively to changes in the hydrological cycle throughout the catchment area. Bach 2014, the study finds that it is necessary to classify integrated models of urban catchment areas and classify them by degree of integration (Bach, Rauch, Mikkelsen, McCarthy, & Deletic, 2014; Zhou, Luo, Qin, Su, & Ren, 2022) to reduce the uncertainty of model calculation results due to the heterogeneity of the urban environment. Discussions are ongoing on the development of a water life cycle universal concept or methodology at catchment level (Zhou et al., 2022).

The variability of hydrological processes and dependence on climate and

geomorphological conditions, as well as anthropogenic factors, present-day hydrologists present a challenge to predict and predict the dynamics of possible hydrological processes in time and space. High spatial resolution models have sophisticated calculation algorithms and require relatively large and dense volumes of observation data that are often unavailable, thus affecting the uncertainty of model results. It is recommended to select a modelling tool appropriate to the target and available data to reduce the uncertainty of the model results. The International Association of hydrological scientists (IAHS) has raised a total of twenty-three unanswered questions in the field of hydrology that need to be addressed over the next decade, including issues directly related to the objective pursued by the research work (Blöschl et al., 2019), namely the use of hydrological models to predict changes in the hydrological cycle under changing climate and land use conditions, the impact of urbanisation on changes in the hydrological cycle, the impact of water management on food chains, including GHG emissions from anthropogenic ecosystems.

In the territory of Latvia, most water bodies have anthropogenic effects, and anthropogenic loads tend to increase in the region. Examples include the rapid development of cities, the intensification of forestry and agriculture.

### **1.1. Possibilities for modelling of urban hydrological processes and GHG emissions in Latvia**

Since the 19 th century, an important and long-standing database of basic research has been established in Latvia, allowing the development of modelling algorithms for hydrological processes. There is a very broad basis for long-term studies on fluctuations in groundwater levels and the moisture regime in soil. As a final step in the cycle of these studies, the creation of the conceptual hydrological model METQ can be mentioned. Based on the groundwater level prediction tool METUL(Krams & Ziverts, 1993; Ziverts, 1976; A. Ziverts & Jauja, 1999; Ansis Ziverts, 1997). Calibration and validation of the model has been completed in natural land uses, typical hydrological response units in Latvia, but calibration and validation for the urban hydrological response unit has not been performed.

World experience has shown that most models used in modelling hydrological processes have been developed in specific scientific groups, the main task of which is to meet national and local level needs for reliable hydrological predictions. Modelling hydrological processes is an endless process where, with increased data availability and software provision, there are opportunities to incorporate increasingly accurate calculation algorithms. However, as the data capacity of models and the performance capacity of the model increases, the accuracy characteristics of each model should be assessed, as inaccurate output data may lead to unacceptably high result uncertainty.

Conceptually, hydrological models are very successful in modelling the hydrological processes of the urban catchment areas, as they provide an opportunity to predict the flow rate in a given volume of the bed with high precision. The design of conceptual hydrological models based on the calculation principles of hydrological response units enables model improvements to be made and an unlimited number of hydrological response units to be developed and integrated into the calculation algorithm.

The GHG emission calculation models are very diverse and based on different principles, each designed with a specific purpose. If the aim is to model GHG emissions from soil, one of the best approaches is to use hydrological models based on conceptual modelling principles for hydrological processes. The main principles for modelling GHG emissions from soils for all gases are closely linked to the temperature and humidity regime in soil. These parameters can be modelled using the conceptual hydrological model METQ, which is open code and allows additional parameters and modules to be developed and integrated into the modelling of GHG emissions from soils. In order to start integrating the Urban hydrological response unit and GHG emission modules into the conceptual hydrological model METQ, it is necessary to describe the model's key algorithms to understand the model's operating principles. In parallel, information on basic processes for modelling GHG emissions from soils should be prepared and available information on the inclusion of additional factor calculation algorithms in the model algorithms structure compiled.

The conceptual hydrological model METQ has been developed under the guidance of scientists at the Latvian Latvia University of Agriculture and has been approved for the quantitative evaluation of flows. The METHQ conceptual model used so far cannot be used for flow modelling in areas with urban areas. The main reason for this deficiency is that a hydrometric post has not been established in Latvia so far to monitor the flow rate in the borehole in the catchment area.

The development and improvement of the METQ conceptual model is not only necessary for quantitative analysis of the flow rate, but it is also possible to carry out interdisciplinary research in the ecohydrology subsector, which studies the interaction between water and ecosystem. In environmental engineering, which addresses diffuse pollution reduction issues, and the introduction of technologies to reduce GHG emissions from soils, where water content in soil and groundwater fluctuations play one of the key roles, such as in the process of producing dismantle oxide emissions (Blöschl et al., 2019).

## **1.2. Aim of the study**

The aim of the study is to improve the conceptual hydrological model METQ by integrating the urban hydrological response unit and to prepare a database and



conceptual solution for modelling GHG emissions from soils using the hydrological calculation included in the conceptual hydrological model METQ of the active layer of soil, groundwater and the associated capillary take-off layer.

### **1.3. Study objectives**

1. collect past experience in the modelling of hydrological processes and the use of models in the modelling of urban hydrological processes and GHG emissions from soils;
2. to evaluate the possibilities for integration of the algorithms in the conceptual hydrological model METQ;
3. establish a design platform for the conceptual hydrologic model METQ with an integrated urban hydrological response unit and develop a conceptual solution for algorithm GHG emissions from soils calculation modules;
4. assess the sensitivity of the parameters of the conceptual hydrological model METQ for optimisation of the calibration and validation process of the urban hydrological response unit;
5. provide insights into the feasibility of using the conceptual hydrological model METQ for assessing the impact of climate change and land use change on run-off;
6. develop a scenario for the improvement of the conceptual hydrological model METQ for the modelling of GHG emissions from soils, which includes the concept of building a module algorithm for nitrous oxide, methane and carbon dioxide.

### **1.4. Thesis statements**

1. The conceptual hydrological model METQ is suitable for the integration of the urban hydrological response unit and for assessing the impact of climate change and land use change on run-off;
2. The conceptual hydrological model METQ is suitable for modelling the potential emissions of nitrous oxide, methane and carbon dioxide from soils.

### **1.5. Scientific novelty**

1. An overview of past experience in hydrological process modelling and the use of models in the modelling of urban hydrological processes and GHG emissions;
2. evaluation of possibilities for integration of urban hydrological response units and GHG emission calculation algorithms in the conceptual hydrological model METQ;

3. an established, user-friendly, modelling platform of conceptual hydrological model METQ with an integrated urban hydrological response unit and an algorithm developed for the conceptual solutions of GHG emission calculation modules from soil;

4. evaluated the performance of modelling platform of conceptual hydrological model METQ, evaluated the efficiency of autocalibration algorithms, performed a sensitivity analysis of the model and calibrated and validated the urban hydrological response unit;

5. an overview has been provided of the possibilities for the usage of the conceptual hydrological model METQ in the assessment of the impact of climate change and change of land use types on run-off, as well as for optimisation of water reservoir management measures;

6. proposals have been developed for the usage of the conceptual hydrological model METQ for modelling GHG emissions from soils.

### 1.6. Structure of study

The study has been developed in several stages in order to achieve the objective set for the doctoral thesis (see Fig.1.1.).

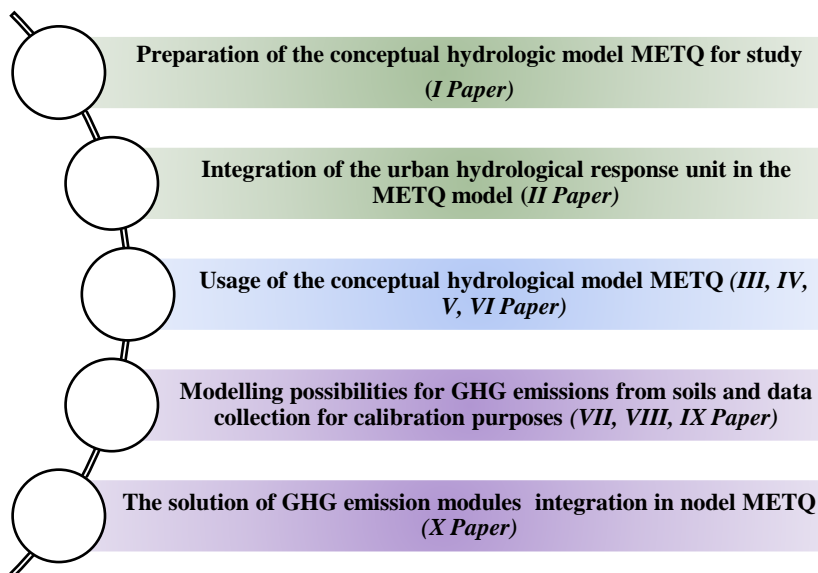


Fig. 1.1 Key steps of the study.

In the first step, the modelling platform METQUL2012 was prepared with

built-in autocalibration algorithms and a built-in urban hydrological response unit, as well as made a parameter sensitivity test. The second step involved calibration and validation of the urban hydrological response unit. In step three, the conceptual hydrological model METQ was used to assess the complex effects of climate variability and land use change on the hydrological regime. The fourth step identified methods for modelling GHG emissions from soils and prepared a methodology for measuring gases for model calibration purposes. In step five, a concept was developed for integrating GHG emission calculation algorithms into the conceptual hydrological model METQ.

## **2. MATERIALS AND METHODS**

The objective of this study is complex and therefore the study was divided into a relatively five-step phase. The conceptual diagram of the conduct of the study is illustrated in Fig. 2.1. In the first phase, a design platform for the conceptual hydrologic model METQ was developed (Inga Grinfelde & Lauva, 2012). In the second phase, model verification, autocalibration algorithm testing and performance comparison and parameter sensitivity test (Paper I) were carried out and in the third phase calibration of the parameters of the urban hydrological response unit and verification of the urban hydrological response unit module (Paper II) were carried out.

The fourth stage consisted of modelling of the run-off of Lake Usma to assess the cumulative impact of land use patterns and climate variability on run-off (Paper III, IV and V) and modelling of the Lake Tāšu complex to provide recommendations for sustainable lake management (Paper VI). Modelling of GHG emissions from soils and data collection for calibration purposes (Paper VII, VIII and IX). Solution for the integration of GHG emission modules in the conceptual hydrological model METQ (Paper X).

During the development of the research work, the basic steps of the modelling process were followed, which allows the model to be tracked and reduces the risks of errors in the model.

### **2.1. Preparation of conceptual hydrologic model METQ for study use**

The conceptual hydrological model METQ was established in 1996 (A. Ziverts & Jauja, 1996) as a modification of the model METUL (Krams & Ziverts, 1993), which allows the drainage basin to be divided into sub-basins or hydrological response units. The calculation algorithm of the METQ96 model enables the daily flow rate to be calculated using observations of average daily temperatures, precipitation and air moisture deficiency.

The next enhanced version of the conceptual hydrological model METQ,

METQ0203, was developed in 2002. It is recommended that the model be used for the modelling of flow rates for pools with an area up to approximately 2000 km<sup>2</sup>. For rivers with a larger drainage basin area, it is recommended to divide the drainage basin into partial drainage basins. However, if there is a large lake or reservoir in the drainage basin of a smaller river, the modelling should be done first for the drainage basin of that lake or reservoir, while the part of the drainage basin downstream of that lake or reservoir should be modelled as a separate drainage basin.

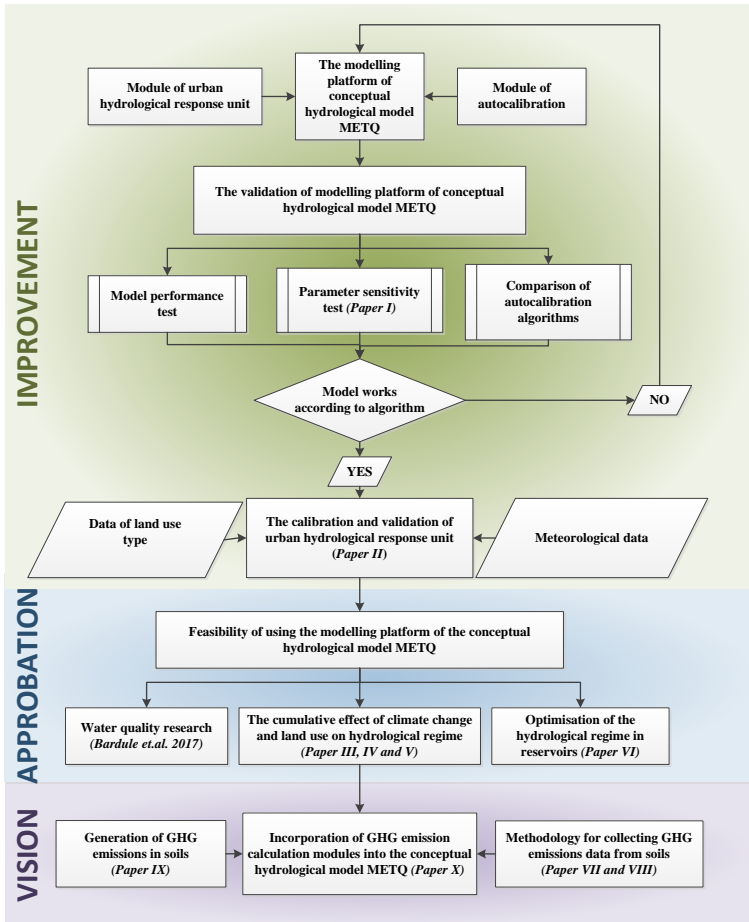


Fig. 2.1. Flow diagram of development of conceptual hydrological model METQ

Further to the development of the conceptual hydrological model METQ, a new and improved version of the model METQUL2012 was developed within the framework of this study, which was developed in the LBTU Scientific Laboratory of Forest and Water Resources and is the basis for the development of this research work. The main addition to the model is the integration of the Urban hydrological response unit into the calculation algorithm (Bakute, Grinfelde, & Lagzdins, 2017; I. Grinfelde & Bakute, 2017; Inga Grinfelde & Lauva, 2012).

For the purposes of the study, a modelling platform, METQUL2012, was established in early 2012 (Inga Grinfelde & Lauva, 2012) to facilitate the calibration, validation and use of the conceptual hydrological model METQ for daily flow calculations. The design of platform METQUL2012 was based on the version METQ0203 of conceptual hydrologic model METQ. In addition, a autocalibration unit was created where seven autocalibration algorithms can be used to calibrate parameters *Nelder-Mead algorithm NEL*; *Genetic algorithm GEN*; *Levenberg-Marquardt algorithm LMA*; *Quasi-Newton BFGS algorithm*; *Quasi-Newton DFP algorithm*; *FLETCHER Conjugate gradient algorithm*; *POLAK Conjugate gradient algorithm* (Broyden, 1969; W C Davidon, 1959; William C Davidon, 1991; R. Fletcher, 1970; R. Fletcher & Powell, 1963; Gilbert & Nocedal, 1992; Goldfarb, 1970; Inga Grinfelde & Lauva, 2012; Levenberg, 1944; Marquardt, 1963; Nelder & Mead, 1965; Nocedal, 1992; Polak & Ribière, 1969; Polyak, 1969; Powell, 1987; Shanno, 1970).

### **2.1.1. Improvements to the conceptual hydrological model METQ**

The conceptual diagram of the design of the conceptual hydrological model METQ is given in Figure 2.2. in which the main flows are demonstrated. In the calculation of the water balance, a large indicator is the accumulation of water in the hydrological reaction, for example: snow cover, soil active layer, groundwater and associated capillary take-off layer.

The upper layer, called the active layer of the soil, does not have a precise definition of the lower limits in this model, but indicates that the main part of the roots of the plants is located there. During the growing season, the total evaporation of this layer is mainly determined by the transpiration of the plants. On the other hand, groundwater stocks are characterized in this hydrological model by the free volume layer between the ground surface and the groundwater level. The drainage of each hydrological response unit shall be characterised by the following components:  $Q_1$  – surface run-off;  $Q_2$  – soil run-off;  $Q_3$  – deep underground run-off from layers draining in the river basin under consideration. In the hydrographic network, these runoff components combine and transform into a smoothed river run-off -  $Q$ . The flow diagram of the conceptual hydrological model METQ is given in Figure 2.3. this concept is applicable to

unexplored rivers where the proportion of hydrological response units is known and default parameters are used for each hydrological response unit. The model provides for the possibility to use data from several weather stations, where it is possible for each station to define a percentage in the catchment area of a particular watercourse. The model shall repeat the calculation algorithm for each hydrological response unit and meteorological station, accumulating the drainage module data for the next calculation step. For research work, the modelling platform METQUL2012 incorporated a hydrological hydrological response unit, the parameters of which were calibrated during the second stage of development of the conceptual hydrological model. The next stage of the calculation is related to the calculation of the flow rate in the volume of the watercourse bed and the distribution of the flow in the catchment area determined by geological and geomorphological conditions. The calculation shall be made on a daily basis in accordance with the coordinates of the hydrograph of the unit describing the proportion of surface run-off by day.

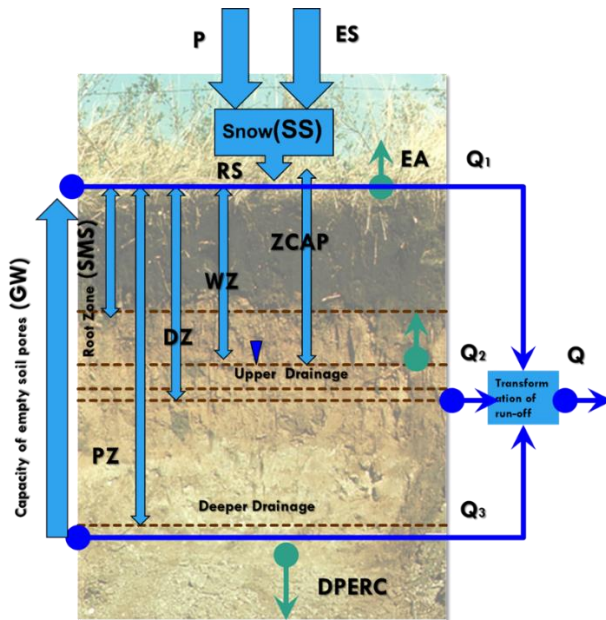


Figure 2.2. Concept of the calculation of the of hydrological response unit of the conceptual hydrological model METQ

*P* – precipitation,  $\text{mm day}^{-1}$ ; *ES* - evaporation from snow,  $\text{mm day}^{-1}$ ; *RS* – rain and snow melting water,  $\text{mm day}^{-1}$ ; *EA* — evaporation from the active soil

layer,  $\text{mm day}^{-1}$ ; SMS – water content in the active layer of soil, in mm; Z – depth from the top of the earth, cm; PZ - thickness of drained layer, cm;  $Q_1, Q_2, Q_3$  – drain components,  $\text{mm day}^{-1}$ ; RCH - overflow of water from the active soil layer to the groundwater horizon,  $\text{mm day}^{-1}$ ; CAP - capillary hoists,  $\text{mm day}^{-1}$ ; SS – water content in snow, mm; GW - volume of free soil pores, in mm; DZ – thickness of the upper layer, cm; ZCAP – Capillary take-off height, cm; WZ – depth of groundwater, cm

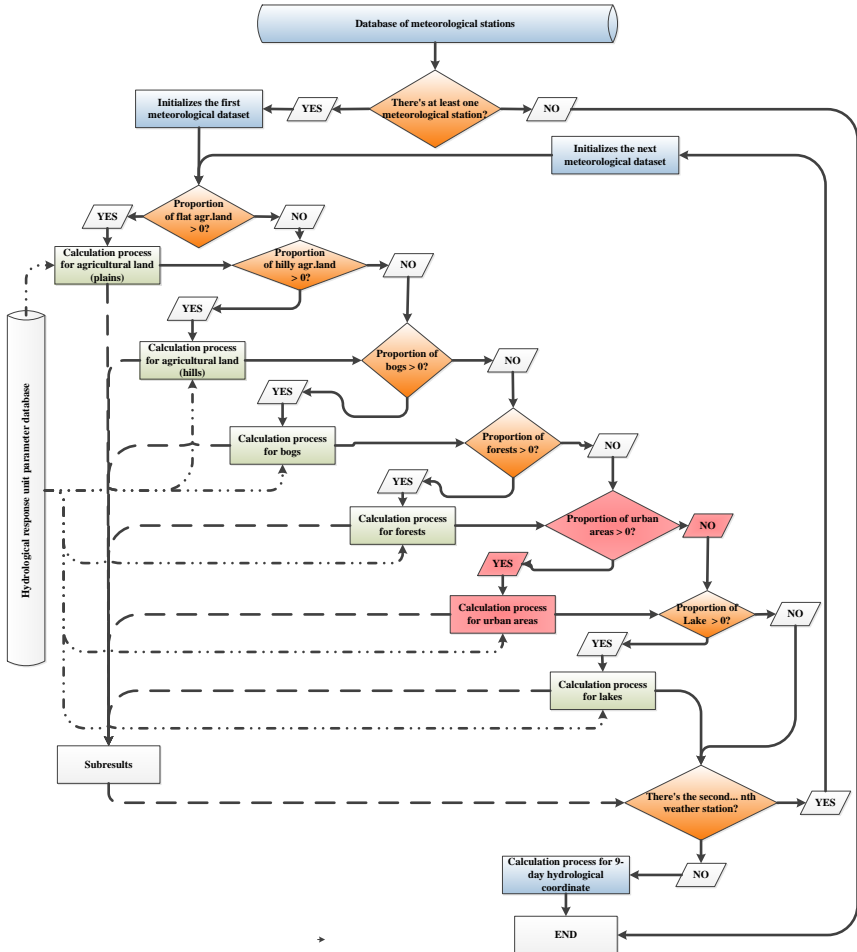


Figure 2.3. The calculation flow diagram of conceptual hydrologic model METQ

The hydrological response unit calculation algorithm consists of three calculation blocks: the calculation of snow formation and melting, calculation for the active layer of soil and calculation for groundwater. Data from each hydrological response unit is stored to be used further for flow calculations in the watercourse bed volume Figure 2.4.

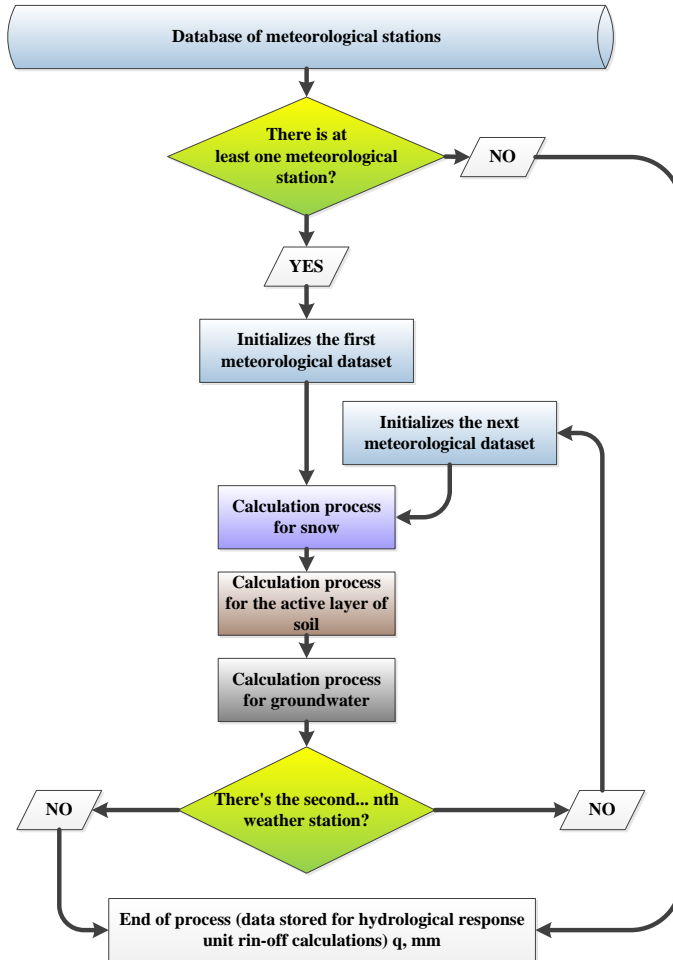


Figure 2.4. **The flow chart of hydrological response unit calculations of conceptual hydrological model METQ**

At the final calculation stage, the flow rate is calculated for each hydrological



response unit in proportion to the coverage of the meteorological stations and a flow correction calculation is performed according to the nine day coordinates of the hydrograph, if there is a lake or reservoir downstream, an additional flow transformation calculation shall be performed.

The total run-off of the drainage basin is calculated according to formula 1, where a urban hydrological response unit was added in the METQ model version:

$$Q = \frac{(Q_{ALL} \cdot W_{ALL} + Q_{AHL} \cdot W_{AHL} + Q_F \cdot W_F + Q_B \cdot W_B + Q_L \cdot W_L + Q_U \cdot W_U)}{100}, \quad (1)$$

where

$Q$ – total drainage of the basin, mm d<sup>-1</sup>;

$Q_{ALL}$ – drainage of flat farmland, mm d<sup>-1</sup>;

$Q_{AHL}$ – drainage of agricultural mounds, mm d<sup>-1</sup>;

$Q_F$ – runoff for forests, mm d<sup>-1</sup>;

$Q_B$ – runoff for marshes, mm d<sup>-1</sup>;

$Q_L$ – drainage to lakes, mm d<sup>-1</sup>;

$Q_U$ – **drainage for urban areas, mm d<sup>-1</sup>**;

$W_{ALL}, W_{AHL}, W_F, W_B$  the proportion of  $W_L, W_U$  those types of elementary basins in the relevant part-basin, the sum of which is 100%.

### 2.1.2. Modelling platform METQUL2012 developed for the study

The platform METQUL2012 were developed for this research work, consisting of six consecutive working surfaces that allow for performance, daily flow modelling and calibration and validation of model parameters. When you open the modeling platform, you start the job from the METEO menu. In this menu, as the default action is set, flow modelling at a particular volume of the bed, but the modelling platform METQUL2012 provides for the possibility to switch to modelling of groundwater levels. This study used the modelling menu for flow rates in a particular volume of the bed, so the following presentation will apply to flow modelling.

The METEO menu allows you to define the meteorological data sets used for flow modelling, and the model includes one or more meteo stations with a weight of 1.0. It is imperative to define the catchment area in the scope of the bed calculation and it is proposed to maintain the catchment parameters in the modelling platform METQUL2012 database. By default, it is assumed that there is no lake or reservoir at the bottom of the catchment area, but if there is a lake at the bottom of the catchment area or a reservoir can define its parameters and the model will calculate the flow transformation. In conclusion, it is imperative to activate the SET METEO button, which forces the model to read data into memory for future use in the modelling process.

The CALIBRATION menu of the METQUL2012 design platform enables

the user to automatically or manually define the proportion of hydrological response units in the relevant catchment area *Subbasin*. You can use default values (Ziverts, 2006) to automatically or manually define the 9 days Q Hydro Coordinates, and manually change the Calibration parameter values for each hydrological response unit. In the same way, you can store defined values or use predefined values in all of the above positions. The graphic representation of the simulated flows can be selected at the end and the RUN METQ button must be activated. The model calculates according to the algorithm described in the previous subchapter and stores the results of the calculation.

The ADD FILES menu of the modelling platform METQUL2012 is designed to facilitate input of meteorological data and observed flows. It is necessary to manually define the start date and file name of the meteorological or flow data row that will be stored in the modelling platform archive. An additional condition is a continuous row of data without missing rows of data, and the rows of meteorological data must be of the same length. After all of the above steps, you must activate the ADD button. The innovation of the METQUL2012 the autocalibration menu, which allows autocalibration using seven different autocalibration algorithms, parameters *Nelder-Mead algorithm NEL*; *Genetic algorithm GEN*; *Levenberg-Marquardt algorithm LMA*; *Quasi-Newton BFGS algorithm*; *Quasi-Newton DFP algorithm*; *FLETCHER Conjugate gradient algorithm*; *POLAK Conjugate gradient algorithm* (Broyden, 1969; W C Davidon, 1959; William C Davidon, 1991; R. Fletcher, 1970; R. Fletcher & Powell, 1963; Gilbert & Nocedal, 1992; Goldfarb, 1970; Inga Grinfelde & Lauva, 2012; Levenberg, 1944; Marquardt, 1963; Nelder & Mead, 1965; Nocedal, 1992; Polak & Ribière, 1969; Polyak, 1969; Powell, 1987; Shanno, 1970). Autocalibration may be performed on one or more parameters of the specific hydrological response unit. An additional condition is that the meteorological data set and the observed flow data set should be of the same length.

The DATA EXPORT menu in the METQUL2012 modelling platform allows the user to select the data they want and exports it in *Excel* format. The user is given the option to choose to export the total flow rate and its components in the calculation bed volume, as well as the possibility to export the flow rate of each hydrological response unit and its components in the calculation bed volume.

The HYDROGRAPH menu of the modelling platform METQUL2012 graphically represents the modeled values and allows the modelling results to be graphically evaluated.

## **2.2. Data and statistical methods used in the study**

The data sets, statistical methods used in the study and their purpose are

summarised in Table 2.1. For traceability purposes, each stage of model development shall be marked with an appropriate colour, which shall be consistent with the stages of the study shown in figures 1.1 and 2.1.

**Table 2.1 The study uses a summary of data and statistical methods**

<b>Paper No.</b>	<b>Data sets used</b>	<b>Statistical methods used</b>	<b>Purpose of use</b>
<b>I</b>	Monotherapy (1993-2015) Climate data, values modelled for each parameter	METQ model Hydrograph graphic Analyze, R <sup>2</sup> ; NSE; PBIAS and RSR; hierarchical cluster analysis	A sensitivity test of METQ parameters has been carried out to excrete paramatrs for calibration of the urban hydrological response unit.
<b>II</b>	United States Geological Agency (USGS) 6 urban catchment areas with an area between 9.76 km <sup>2</sup> and 183.63 km <sup>2</sup>	METQ model Graphic analysis of hydrographs R <sup>2</sup> ; NSE; PBIAS and RSR	Calibration of METQ parameters for the urban hydrological response unit
<b>III</b>	Lake Usma water level data from 1927-2014	Homogeneity test Descriptive statistics	Prepared raw data for use OF THE METQ model
<b>IV</b>	12 Climate scenarios for Stendes station two linear land use scenarios	METQ model Descriptive statistics	Monthly variation in flow rate analysed
<b>V</b>	12 kimata scenarios for Stendes station two linear land use scenarios	METQ model Descriptive statistics Regression analysis	Changes to the flow-through extreme values have been analysed.
<b>VI</b>	12 kimata scenarios Lake bed sound using ADCP RiverRay two linear Earth Usage Type scenarios	3D Model METQ model Hydraulic model Descriptive statistics	Changes to the flow-through extreme values have been analysed.
<b>VII</b>	N <sub>2</sub> O measurement data with CRDS machine Picarro G2508	Linear regression	Prepared and aprobed methodology for data collection N <sub>2</sub> O from soils for modelling purposes
<b>VIII</b>	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O and NH <sub>3</sub> measurement data with CRDS machine Picarro G2508	Linear regression	Prepared and aprobed methodology for data collection CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O and NH <sub>3</sub> from soils for modelling purposes
<b>IX</b>	N <sub>2</sub> O and N <sub>2</sub> O isotopic measurement data with CRDS Picarro G2508 and G5131i	Descriptive statistics	Prepared and aprobed methodology for collecting data for modelling N <sub>2</sub> O production stages (nitrification or denitrification) from soils
<b>X</b>	Literature studios calculate GHG emissions from soils for modelling and METHQ model calculation algorithm	METQ model	Prepared solution for integration of GHG emissions from soils calculation modules in METQ

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

This chapter summarizes the main results of the research work, which are conditionally divided into two sub-chapters, where the first sub-chapter provides the results of the urban hydrological response unit integration and model aprobation studies. The second sub-chapter briefly describes the methodology for collecting data necessary for the modelling of GHG emissions from soils and the conceptual solution for calculating GHG emissions from soils in the conceptual hydrological model METQ.

#### 3.1. Integration of the Urban hydrological response Unit and model aproption

The development and use of the conceptual hydrological model METQ (Paper I and II) in solving complex issues of water management (Paper III, IV, V and VI) was used as a framework for the performance of modelling work, which was fully implemented in the context of the integration of the Urban hydrological response unit (see Figure 3.1).

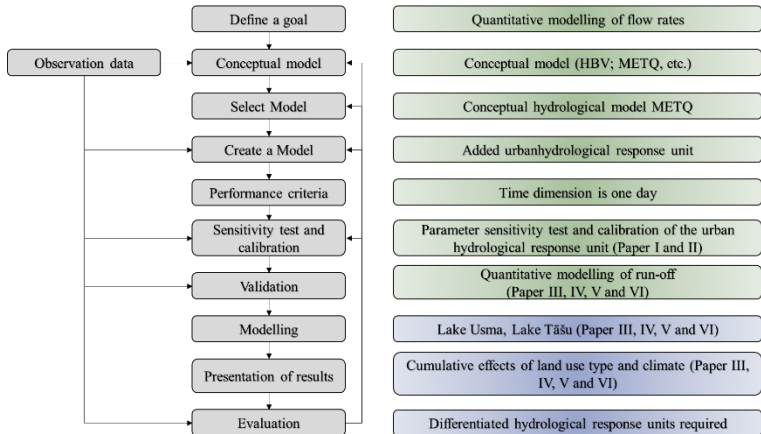


Figure 3.1. Integration and use of the urban hydrological response unit of the conceptual hydrological model METQ according to the stages of model development

In the urban hydrological response unit provides quantitative flow modelling in the model and it is recommended to use the conceptual hydrological model METQ under Latvian conditions.

In order to prepare for calibration of the urban hydrological response unit, a sensitivity test for the parameters of the conceptual hydrological model METQ was carried out for 23 parameters (Paper I). A graphical example of the parameter BETA sensitivity test is given in Figure 3.2.

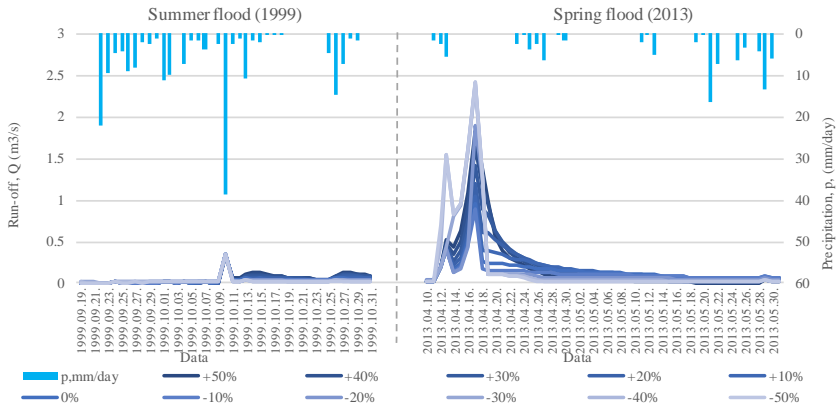


Figure 3.2. Graphical analysis of the parameter BETA sensitivity test

The parameter BETA value of the leakage demonstrates high sensitivity to changes in the parameter value, especially during the spring flood period. Any change in the BETA parameter should be carefully evaluated in the calibration process of the conceptual hydrological model.

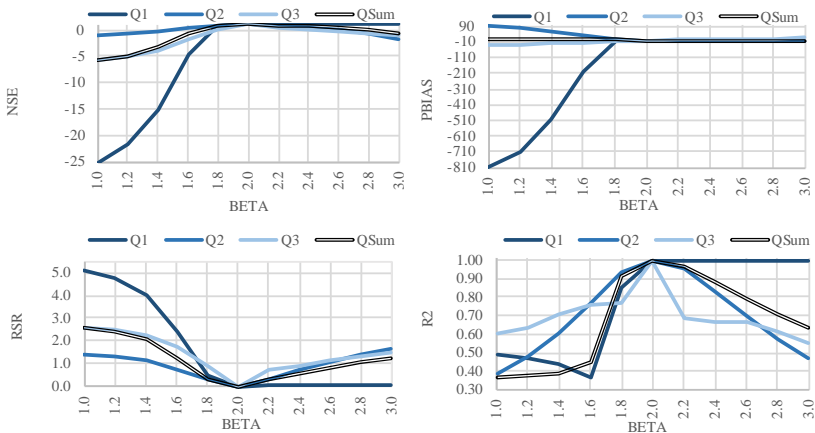


Figure 3.3. Graphical analysis of the effect of the parameter BETA on the conceptual hydrological model METQ performance

Run-off component  $Q_1$ ;  $Q_2$ ;  $Q_3$  and the overall analysis of the change in the drainage  $Q_{sum}$  by changing the parameter BETA in the range  $\pm 50\%$  are presented in the analysis of NSE, RSR,  $R^2$  and PBIAS shows the significant effect of the parameter BETA at Figure 3.3. the drainage component  $Q_1$ .

A graphical analysis of the results of the KU sensitivity test is shown in Figure 3.4. The parameter KU is one of the parameters of the active soil layer area and has a pronounced impact on long-term run-off, while a negligible impact on spring floods and summer autumn floods.

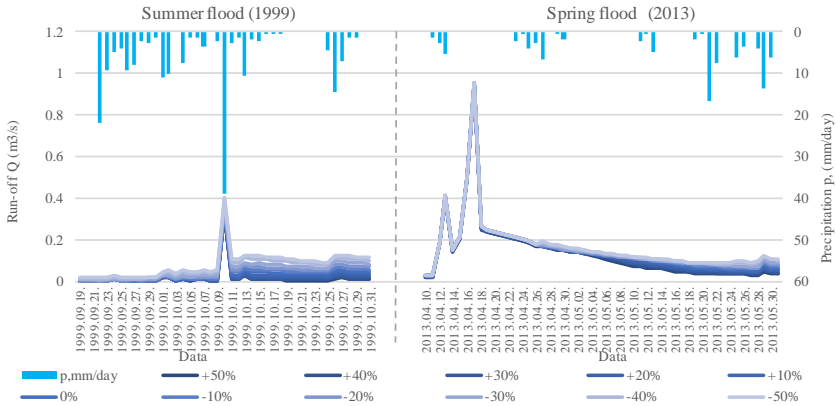
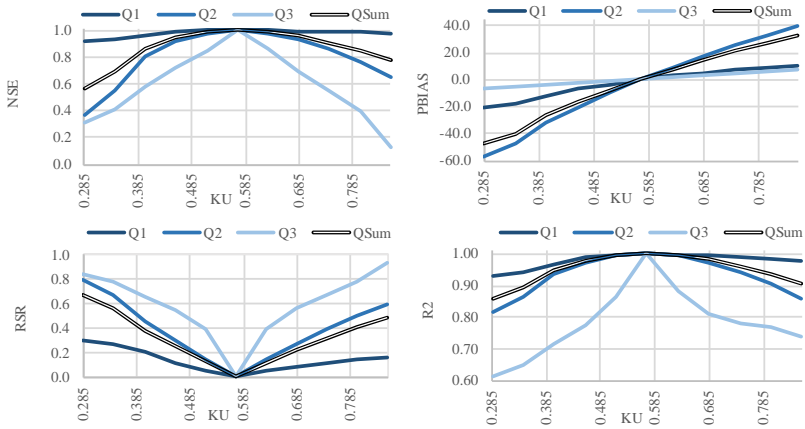


Figure 3.4. Graphical analysis of the parameter KU sensitivity test

The simulated flow rate component  $Q_1$ ;  $Q_2$ ;  $Q_3$  and the analysis of the total flow rate  $Q_{sum}$  changes by changing the parameter KU in amplitude  $\pm 50\%$ , the Figure 3.5. illustrate analysis of the model performance indicators NSE, RSR,  $R^2$  and PBIAS shows the influence of the parameter KU on the drain component  $Q_3$ .

The parameters ALFA; CMELT; ROBK, BETA, DPREC, DZ, KU and ZCAP show hypersensitivity compared to the other parameters. During calibration of the conceptual hydrologic model METQ, it is necessary to analyse and evaluate changes in parameters not only from a sensitivity point of view, but also from a conceptual prism of the model, so that changes in parameters do not disrupt the conceptual algorithm sets of hydrological processes embedded in the model. It is necessary to assess in depth the different parameters of the conceptual hydrological model METQ on the results of the modelling of the different components of the run-off. Further research should focus on the sensitivity analysis of the parameters of the conceptual hydrological model for each run-off component ( $Q_1$ ;  $Q_2$ ;  $Q_3$ ).



**Figure 3.5. Graphical analysis of the effect of the parameter KU on the performance of the conceptual hydrological model METQ**

For the NSE; RSR,  $R^2$  and PBIAS performance parameters of the mean cluster value model obtained from the results of the hierarchical cluster analysis of the sensitivity test of the parameters of the conceptual hydrological model METQ is shown in Table 3.1. parameter A2; A3; CFR; KS; PZ; RROB; RROB2; RROB2Z; T1; WHC; WMAX; ALPHA; AMCOR; ROBK; RROBZ; CMELT; DPREC; CL; ZCAP. The change in the value of DZ and T2 by +50% of the model performance affects the recommended NSE; RSR, PBIAS and  $R^2$  values. However, the +50% change in the BETA and KU parameters has a significant impact on the NSE RSR, PBIAS  $R^2$  performance of the conceptual hydrologic model METQ; (Moriassi et al. 2007).

Parameter A2; AMCOR; RROB; RROBZ; T2; A3; CFR; CL; KS; PZ; RROB2; RROB2Z; T1 changing the WHC and WMAX values by -50% affects the performance of the conceptual hydrologic model METQ in the recommended NSE; RSR, PBIAS and  $R^2$  values (see Table 3.2.). However, eight parameters CMELT; ROBK; BETA; DPREC; DZ; KU and ZCAP by -50% significantly affects the results of the conceptual hydrologic model METQ and exceeds the limits of NSE; RSR, PBIAS,  $R^2$  values (Moriassi et al. 2007).

The third to eighth clusters show one more  $R^2$ ; PBIAS; RSR; Non-compliance of NSE values with established limits, indicating sensitivity of parameters and significant impact on model performance.

Table 3.1. The results of cluster analysis of runoff (Q) deviation at parameter change by + 50%

Class	Objects	Within-class variance	R2	PBIAS	RSR	NSE	Parameters
1	11	0.065	<b>0.993</b>	<b>0.014</b>	<b>0.075</b>	<b>0.992</b>	A2; A3; CFR; KS; PZ; RROB; RROB2; RROB2Z; T1; WHC; WMAX
2	4	0.020	<b>0.966</b>	<b>0.409</b>	<b>0.207</b>	<b>0.957</b>	ALFA; AMCOR; ROBK; RROBZ
3	1	0.000	0.630	-4.440	1.262	-0.591	BETA
4	1	0.000	<b>0.828</b>	<b>1.075</b>	<b>0.431</b>	<b>0.814</b>	CMELT
5	3	0.251	<b>0.997</b>	<b>6.644</b>	<b>0.096</b>	<b>0.990</b>	DPREC; KL; ZCAP
6	1	0.000	<b>0.984</b>	<b>-8.498</b>	<b>0.159</b>	<b>0.975</b>	DZ
7	1	0.000	0.907	33.507	0.478	0.771	KU
8	1	0.000	<b>0.901</b>	<b>-2.972</b>	<b>0.327</b>	<b>0.893</b>	T2

By contrast, the parameters in the second and first clusters at R<sup>2</sup>; PBIAS; RSR; NSE values, each individually, do not show any significant impact on the performance of the model.

Table 3.2. The results of cluster analysis of runoff (Q) deviation at parameter change by - 50% by (R2; PBIAS; RSR; NSE)

Class	Objects	Within-class variance	R2	PBIAS	RSR	NSE	Parameters
1	5	0.036	<b>0.936</b>	<b>0.901</b>	<b>0.266</b>	<b>0.928</b>	A2; AMCOR; RROB; RROBZ; T2
2	10	0.033	<b>0.992</b>	<b>-0.729</b>	<b>0.079</b>	<b>0.991</b>	A3; CFR; KL; KS; PZ; RROB2; RROB2Z; T1; WHC; WMAX
3	3	0.099	0.802	-2.443	0.525	0.717	ALFA; CMELT; ROBK
4	1	0.000	0.371	10.706	2.615	-5.841	BETA
5	1	0.000	0.995	-16.559	0.202	0.959	DPREC
6	1	0.000	0.536	7.992	1.375	-0.890	DZ
7	1	0.000	0.858	-47.038	0.656	0.570	KU
8	1	0.000	0.989	-10.105	0.153	0.977	ZCAP



Calibration and validation of the urban hydrological response unit has been performed for 6 urban catchments (Paper II). The results of calibration and validation are summarised in Table 3.3. The NSE for all catchments is acceptable (Moriassi et al., 2007) and varies from 0.69 to 0.96 for the calibration period and from 0.67 to 0.91 for the validation period.  $R^2$  is acceptable for all catchments in all periods (Moriassi et al., 2007) and varies from 0.81 to 0.98 for the calibration period and from 0.79 to 0.87 for the validation period.

**Table 3.3. Results of calibration and validation of urban hydrological response unit of model METQ**

Catchment	Calibration period				Validation period			
	NSE	$R^2$	RSR	PBIAS	NSE	$R^2$	RSR	PBIAS
<b>NY_BO</b>	0.69	0.81	0.69	-23.63	0.67	0.79	0.70	-24.87
<b>NY_VA</b>	0.78	0.91	0.47	11.67	0.79	0.91	0.44	10.18
<b>WA_SP</b>	0.82	0.93	0.31	-3.03	0.80	0.92	0.30	-3.48
<b>WA_MI</b>	0.96	0.98	0.21	-1.07	0.91	0.95	0.24	-2.11
<b>MI_EC</b>	0.76	0.87	0.43	14.86	0.73	0.84	0.49	16.36
<b>MI_PA</b>	0.72	0.84	0.40	17.01	0.75	0.87	0.42	15.28

NY\_BO shows better modeling results during the calibration period. However, MI\_PA has better results for the validation period than for the calibration period. The accuracy of the model calculation is influenced by several factors: the accuracy of the precipitation data; the accuracy of the flow measurement and the conditions of the river bed. (Benedetti et al., 2012; Cuo, Lettenmaier, Alberti, & Richey, 2009; Meng, 2022) Parameters A2 of the conceptual hydrological model METQ; A3; CMELT; DZ; PZ; RROB; RROBZ; RROB2; RROBZ2; ROBK; DPREC; AMCOR; IT is recommended that beta is calibrated in natural catchments (A. Ziverts & Jauja, 1999) and the other parameters are constant. The calibration of the parameters of the urban hydrological response unit led to the decision to further calibrate the parameters (WMAX; ALPHA; ZCAP; KU; KL; T1; T2; KS; WHC; CFR; AMCOR). Cities have great surface heterogeneity and disrupted stream formation, as well as different microclimates (Burszta-Adamiak, Biniak-Pieróg, Dąbek, & Sternik, 2023; Techapinyawat, Goulden-Brady, Garcia, & Zhang, 2023; Van de Ven, 1990). A graphical comparison of the modelled and observed flows is shown in Figure 3.6.

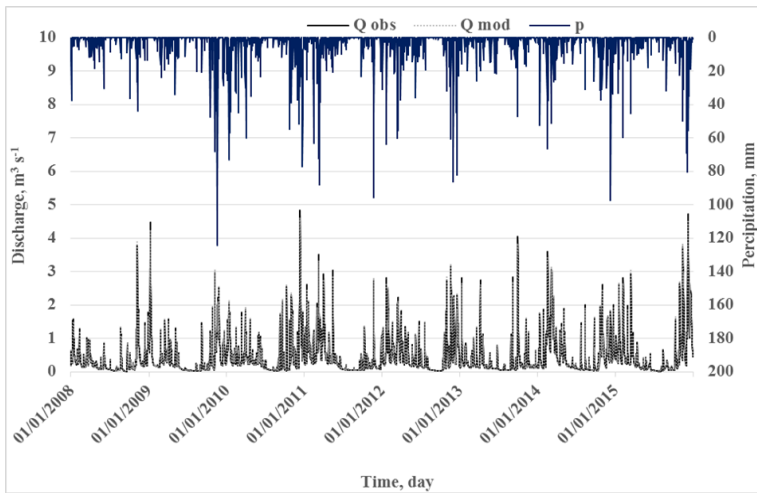


Figure 3.6. **The observed precipitation and observed and modelled flows in the catchment area WA\_MI**

The modelled and observed flow rates in the hydrograph show good relevance, however, there is a discrepancy between the modelled results of the maximum flows and those observed.

This uncertainty is due to the accuracy of the measurements and the intensity and distribution of rain in the catchment area. The parameters WMAX, ALPHA, ZCAP, T1, T2, KS, DZ, PZ, DPREC, BETA show significant differences of more than 20% between catchment areas and in some cases more than 40%. This variation is due to the heterogeneity of the ground cover, the historical development of rainwater collection systems and the density of urbanisation (Burszta-Adamiak et al., 2023; Techapinyawat et al., 2023; Van de Ven, 1990). Further studies need to classify urban catchment areas by covered area and develop parametric sets of at least three urban hydrological response units, as well as integrate the calculation algorithm into the conceptual hydrological model METQ.

Modelling results for climate and land use scenarios show that extremely high flows are associated with rain events than snow melting (Paper III, IV and V). Minimum drainage periods become longer and more frequent. for 30 years, the monthly average for quartile 1 and quartile 3 from 2070 to 2100 for climate scenarios with increased forest areas (pessimistic (PES)) and increased agricultural and urban areas (optimistic (OPT)) for land use scenarios is shown in Figure 3.7.

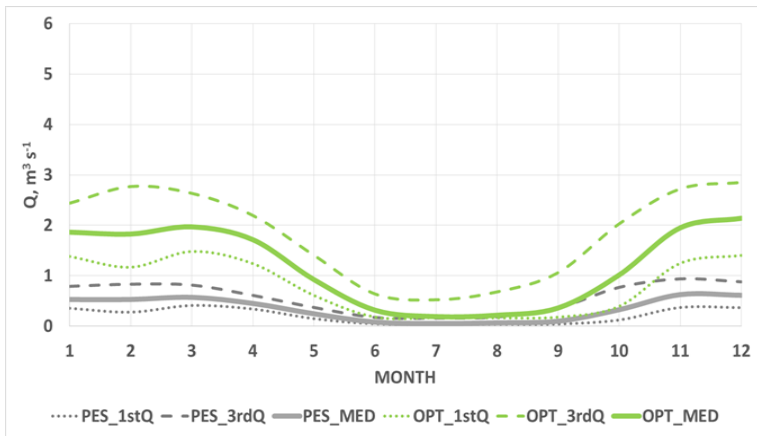


Figure 3.7. **Impact of land use scenarios and climate scenarios on monthly average flows in the Lake Usma catchment area**

The results of the study indicate the impact of significant land use changes on the hydrological regime of Lake Usma in all twelve climate scenarios.

The arithmetic mean values of the modelled design flows of Lake Usma are predicted in most of the climate scenarios analysed for a larger optimistic land use scenario, i.e. increasing agricultural land areas and increasing urbanisation. For the simulated average flows of Lake Usma over a period of 30 years (2070-2100), the tendency to increase is 6 out of 12 climatic scenarios regardless of the type of land use scenario, but in the 8 th climatic scenario the tendency to increase the flow rate is predicted by meeting the optimistic type of land use scenario and the tendency decrease – by fulfilling the pessimistic scenario the simulated maximum flows of Lake Usma over a period of 30 years (2070-2100) the tendency to increase is 7 out of 12 climatic scenarios regardless of the type of land use scenario, however, in climate scenario 1, an increase in the flow rate tendency is predicted, when the optimistic land use type scenario is fulfilled and the tendency decrease – when the pessimistic scenario is fulfilled.

For the simulated minimum flows of Lake Usma over a period of 30 years (2070-2100), the tendency to increase is only 2 out of 12 climatic scenarios regardless of the type of land use scenario, and 2 out of 12 climatic scenarios predict an increase in the flow tendency, in accordance with the optimistic type of land use scenario and a decrease in tendency – in accordance with the pessimistic scenario;

In all climate scenarios, during the cold period of the year, drainage is higher in an optimistic land use scenario where the proportion of urbanised areas increases, due to the increase in watertight areas and the decrease in infiltration.

Pessimistic land use scenarios, by increasing the forest area in the catchment area of Lake Usma, can have a significant impact on the hydrological regime in all twelve climate scenarios, reducing the total runoff associated with evapotranspiration in forest areas. The pessimistic land-use scenario for all climate scenarios, reduces runoff, and future studies may draw attention to the impact of changes in the hydrological regime on the efficiency of small hydropower plants.

The fluctuations in the water level of Lake Tāši remain seasonal, where the rise in the water level during the autumn-winter period alternates with the drop in the water level during the summer (Paper VI). In all scenarios, the current overflow width of 0.8 m of the channel/regulator is unable to provide a water level regime that corresponds to the functions of the Alande River as a national water drain. When analysing the annual fluctuations in the water level of the lake, the modelled values of future climate scenarios at the width of the overhead at 0.8 m are able to ensure the annual fluctuation range of water level from 17.60 to 18.3 m LAS 2000.5, which is not sufficient to ensure the functionality of the water drain of national significance, Alande. When analysing the annual fluctuations in the water level of the lake, the modelled values of future climate scenarios at the slope width of 2.0 m are able to provide the annual fluctuation range of water level from 17.60 to 18.00 m LAS 2000.5, which is sufficient to ensure the functionality of the water drain of national significance, Alande River.

### **3.2. Modelling options for GHG emissions from soils**

Regular measurements of GHG emissions from soils under laboratory and field conditions have been carried out since 2016. Since 2017, data have been collected on the basis of a methodology developed in the framework of this study (Paper VII and VIII). Systematic collection and accumulation of N<sub>2</sub>O isotopic measurement data has started since 2018 (Paper IX)

The design of the conceptual hydrological model METQ and the integration possibilities of the GHG emission calculation algorithms are evaluated from the conceptual prism and four main steps necessary for the successful integration of the GHG emission calculation module into the conceptual hydrological model METQ (Paper X) are identified.

In the first step, it is necessary to assess the selection of data sets for GHG emission modelling from the intermediate results of the conceptual hydrological model METQ, as well as the need for additional parameters and data series for GHG emission modelling. In the second phase, the existing algorithms of the conceptual hydrologic model METQ are evaluated and a conceptual solution for the integration of GHG emission modules or the development of additional algorithms should be established. In the third step, a calculation algorithm is created for each GHG gas using the intermediate results of calculations of the

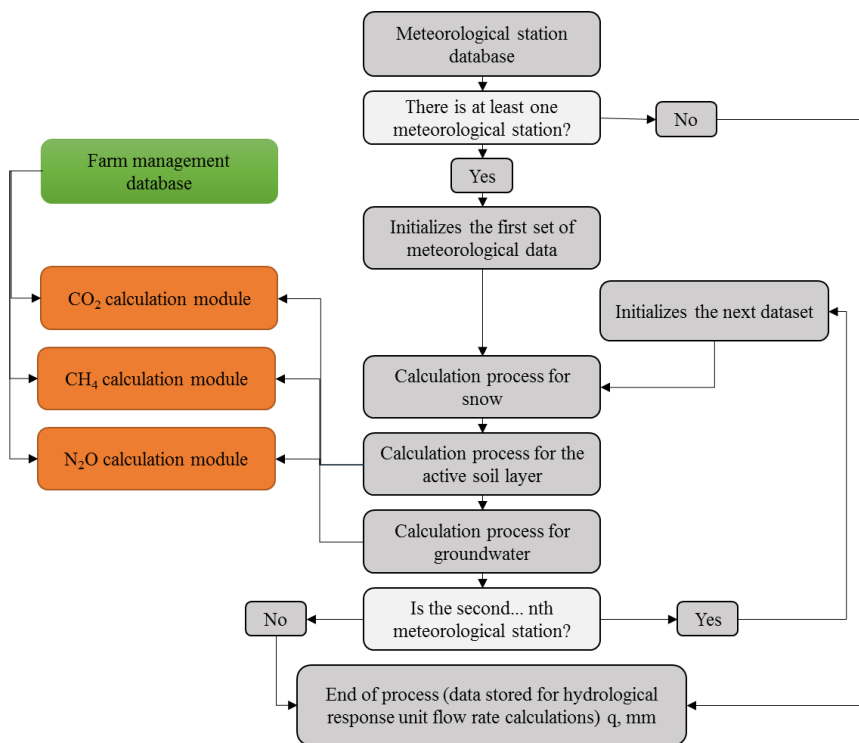
active soil layer of the conceptual hydrological model METQ and additional parameters related to the calculation of GHG emissions. Step four is a long-term measure where field gas measurements are used in the calibration of established GHG emission calculation modules. This study will describe the first two steps and describe the conceptual solution for module integration.

The GHG calculation modules should be divided into two groups, the first group of modules being emissions from soil, where the GHG calculation modules can be connected to the calculation algorithms of the conceptual hydrological model METQ. The GHG calculation modules shall be designed separately for carbon dioxide, methane and dirty oxide (see Figure 3.8.).

When analysing the main factors contributing to CO<sub>2</sub> emissions from soil, there are several. The soil granular composition has a significant impact on CO<sub>2</sub> emissions as the granular composition directly affects soil porosity (Bouma & Bryla, 2000). Precipitation has a significant impact on soil breathing and, together with the soil's granular composition, forms a soil moisture regime that directly affects rhizosphere activity and determines CO<sub>2</sub> emissions (Borcken & Matzner, 2009). As precipitation infiltrates the soil and extrudes the air from the soil pores, CO<sub>2</sub> is extruded, thus creating a CO<sub>2</sub> emission peak. The set of calculation algorithms FOR the conceptual hydrologic model METQ is intended for the calculation of active soil layer processes where the CO<sub>2</sub> calculation module can be successfully integrated.

Methane emissions are a more complex process where the most important factors are soil moisture conditions and the amount of organic matter and the rate at which the organic matter decomposes (Changsheng Li, Froking, & Froking, 1992). But alongside methane production, there is methane consumption in the soil, which is closely linked to the availability of oxygen in the soil (C. Li, 2007). The above factors allow the methane calculation module to be integrated into algorithms for the calculation of the active layer and groundwater of the conceptual hydrological model METQ.

The calculation of nitrous oxide emissions from soil has the most complex calculation algorithm because it is closely linked to nitrification and denitrification processes, which in turn depend on factors such as soil temperature, soil humidity and pH (Blagodatsky & Richter, 1998). the calculation algorithm of the active layer of the soil of the conceptual hydrological model METQ enables the generation of intermediate results necessary for conceptual calculations of nitrification and denitrification processes.



**Figure 3.8. Design model for integration of modules for the calculation of carbon dioxide, methane and nitrous oxide emissions in METQ**

In addition to existing algorithms, it is necessary to create an additional calculation module using climate data, soil parameters, and agrotechnical conditions be able to generate the daily average soil humidity and soil temperature. For the successful integration of GHG emission calculation algorithms, it is recommended to use existing calculation algorithms of the conceptual hydrological model METQ, which are described in detail (Krams & Ziverts, 1993).

The second group of emission calculation modules, on the other hand, are indirect N<sub>2</sub>O emissions and methane emissions from water bodies, where the GHG calculation algorithm can be connected to the calculation algorithm of the total drainage of the conceptual hydrological model METQ (see Figure 3.9.).

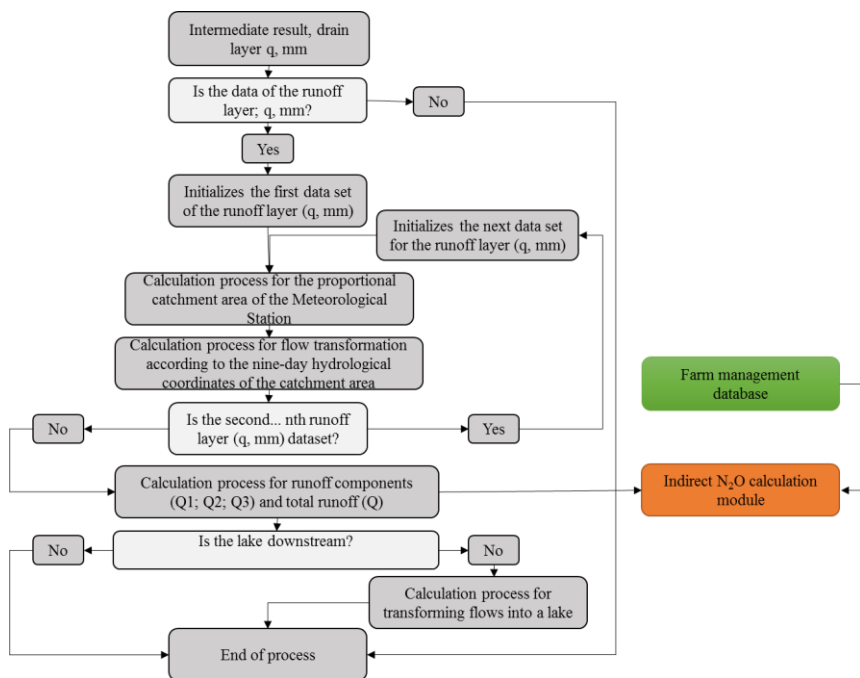


Figure 3.9 **Design model for integration of modules for calculating indirect nitrogen oxide emissions in METQ**

An analysis of the available statistical databases and of the results of scientific research can currently lead to the creation of the N<sub>2</sub>O calculation module. It uses existing agricultural drainage monitoring data reflecting agro-technical conditions and calculates indirect N<sub>2</sub>O emissions for the design algorithm of the METHQ drainage components of the conceptual hydrological model.

The design platform of the conceptual hydrologic model METQ allows the use of intermediate results of model calculations such as end-of-day groundwater level, capillary take-off, total evaporation, etc. required in GHG emission calculation algorithms.

The metaq algorithms of the conceptual hydrological model are well documented and allow the integration of GHG emission calculation modules for the calculation of carbon dioxide, methane and nitrous oxide emissions from soil. However, it is necessary to create additional parameter input options for each GHG emission from soil calculation module.

Integration of the GHG calculation into the conceptual hydrological model METQ requires the reprogramming of the existing modelling platform and the creation of an open platform for the addition of new calculation modules. For

GHG modelling from agricultural soils based on nitrification and denitrification processes in soil as well as indirect GHG modelling from watercourses based on nitrogen leakage and nitrification and denitrification processes in water.

### 3.3. Integration of GHG emission modules In the conceptual hydrological model METQ and further research steps

The strategic benefits of improvement of the conceptual hydrological model METQ relate to taking into account the climatic and hydrogeological conditions of Latvia in solving various complex issues. In the conceptual hydrological model for the integration of GHG emission modules, METQ, as part of this study, stops at producing data and developing a concept. The next steps in the studies are presented in Figure 3.10.

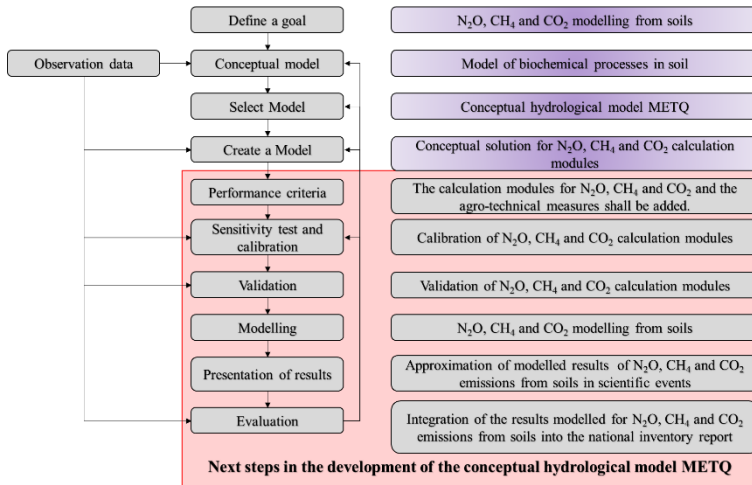


Figure 3.10. **Integration of GHG emission modules In the conceptual hydrological model METQ and further research steps**

On the basis that research carried out by the research work requires the development of a modelling platform, which is an interdisciplinary task. It is recommended that the modelling platform be designed in such a way that it is possible to connect additional modules for modelling various hydrological cycle related issues. It is primarily necessary to develop an open-type algorithm where the intermediate results of an existing modelling algorithm can be used in new modules. When creating a modelling platform, it should be possible to use existing algorithms to create new intermediate values and to connect additional issues.



The development of the conceptual hydrologic model METQ should focus on two main directions. Differentiation of hydrological response units and the possibility to increase the number of hydrological response units in urban, agricultural and forestry areas. The second direction is the establishment and development of GHG emission modules, which would allow for precise predictions of GHG emissions from soils.

## **4. CONCLUSIONS AND PROPOSALS**

1. In hydrological process modelling, several hundred models are actively used, which are divided into two main groups conceptually and physically. The use of conceptual models gives more accurate results for catchment areas with an area above 5 km<sup>2</sup>. New-build modelling tools are used to simulate GHG emissions, but hydrological models are successfully used with an additional algorithm that allows for the modelling of gas emissions and stands out with greater accuracy in modelling of dysmanic oxide in the temperate climate zone where soil freezing is observed during the winter period;
2. The calculation algorithm of the conceptual hydrological model METQ allows the integration of an unlimited number of hydrological response units, which allow not only the integration of the uranium hydrological response unit, but also in subsequent stages of the development of the conceptual hydrological model METQ, the separation of several units of the uranium hydrological response, each calibrated for different proportions of watertight surfaces and hydromorphological properties of the urban area;
3. The design platform of THE conceptual hydrologic model METQ enables intermediate calculations of the model, such as end-of-day groundwater level, capillary take-off, total evaporation, etc., required in GHG emission calculation algorithms, to be maintained and used in the calculation algorithm;
4. The METQUL2012 platform for the conceptual hydrologic model METQ has been established and validated. The optimum calibration results were reported by the Nelder-Mead algorithm, which is consistent with the results of other authors;
5. The sensitivity test of the parameters of the conceptual hydrological model METQ shows that the parameters of the model ALPHA; CMELT; ROBK; BETA; DPREC; DZ; KU and ZCAP should be calibrated with particular care to preserve the conceptual meaning of the calculation algorithm and at the same time improve the performance of the model;

6. The hydrological response unit of THE conceptual hydrologic model METQ in the urban is established and integrated into the model. The calibration and validation results of the Urban hydrological response Unit for 6 urban catchments are sufficient for  $NSE > 0.5$ ;  $R^2 > 0.75$ ;  $RSR < 0.70$  and  $PBIAS \pm 25\%$  to allow model parameters to be used for modelling unexplored urban catchment areas;
7. Integration of the GHG calculation into the conceptual hydrological model METQ requires the reprogramming of the existing modelling platform and the creation of an open platform for the addition of new calculation modules. GHG modelling from agricultural soils based on nitrification and denitrification processes in the soil, as well as indirect GHG modelling from watercourses based on nitrogen leakage and nitrification and denitrification processes in water;
8. The conceptual hydrological model METQ can be used in water quality studies conducted in collaboration between scientists at an interdisciplinary level. The results of the modelling show that climate variability and land use change have a significant aggregate effect on surface runoff and its components.

## IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS / *REFERENCES*

- Abdeljaber, A., Adghim, M., Abdallah, M., Ghanima, R., & ALjassem, F. (2022). Comparative performance and cost-integrated life cycle assessment of low impact development controls for sustainable stormwater management. *Environmental Impact Assessment Review*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106805>
- Ajjur, S. B., & Al-Ghamdi, S. G. (2022). Exploring urban growth–climate change–flood risk nexus in fast growing cities. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16475-x>
- Bach, P. M., Rauch, W., Mikkelsen, P. S., McCarthy, D. T., & Deletic, A. (2014). A critical review of integrated urban water modelling – Urban drainage and beyond. *Environmental Modelling & Software*, 54, 88–107. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2013.12.018>
- Bakute, A., Grinfelde, I., & Lagzdins, A. (2017). Application of the model metq for hydrological calculations. In *Research for Rural Development* (Vol. 1, pp. 139–144). <https://doi.org/10.22616/rrd.23.2017.023>
- Bardule, A., Grinfelde, I., Lazdina, D., Bardulis, A., & Sarkanabols, T. (2018). Macronutrient leaching in a fertilized juvenile hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.) plantation cultivated in an agroforestry system in Latvia. *Hydrology Research*, 49(2), 407–420. <https://doi.org/10.2166/nh.2017.054>
- Benedetti, L., Langeveld, J., De Klein, J. J. M., Nopens, I., Van Nieuwenhuijzen, A., Flameling, T., ... Weijers, S. (2012). Cost-effective solutions for river water quality improvement in Eindhoven supported by sewer-WWTP-river integrated modeling. In *WEFTEC 2012 - 85th Annual Technical Exhibition and Conference* (Vol. 6, pp. 3337–3342).
- Blagodatsky, S. A., & Richter, O. (1998). Microbial growth in soil and nitrogen turnover: a theoretical model considering the activity state of microorganisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(13), 1743–1755. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(98\)00028-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00028-5)
- Blöschl, G., Bierkens, M. F. P., Chambel, A., Cudennec, C., Destouni, G., Fiori, A., ... Zhang, Y. (2019). Twenty-three unsolved problems in hydrology (UPH)—a community perspective. *Hydrological Sciences Journal*, 64(10), 1141–1158. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1620507>
- Borken, W., & Matzner, E. (2009). Reappraisal of drying and wetting effects on C and N mineralization and fluxes in soils. *Global Change Biology*, 15(4), 808–824. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01681.x>
- Bouma, T. J., & Bryla, D. R. (2000). On the assessment of root and soil

- respiration for soils of different textures: Interactions with soil moisture contents and soil CO<sub>2</sub> concentrations. *Plant and Soil*, 227(1–2), 215–221. <https://doi.org/10.1023/A:1026502414977>
- Broyden, C. (1969). A new double-rank minimization algorithm.
- Burszta-Adamiak, E., Biniak-Pieróg, M., Dąbek, P. B., & Sternik, A. (2023). Rain garden hydrological performance – Responses to real rainfall events. *Science of the Total Environment*, 887. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164153>
- Changsheng Li, Frohking, S., & Frohking, T. A. (1992). A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity. *Journal of Geophysical Research*, 97(D9), 9759–9776. <https://doi.org/10.1029/92jd00509>
- Chen, J., Hill, A. A., & Urbano, L. D. (2009). A GIS-based model for urban flood inundation. *Journal of Hydrology*, 373(1–2), 184–192. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2009.04.021>
- Crawford, S. E., Brinkmann, M., Ouellet, J. D., Lehmkuhl, F., Reicherter, K., Schwarzbauer, J., ... Hollert, H. (2022). Remobilization of pollutants during extreme flood events poses severe risks to human and environmental health. *Journal of Hazardous Materials*, 421. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126691>
- Cuo, L., Lettenmaier, D. P., Alberti, M., & Richey, J. E. (2009). Effects of a century of land cover and climate change on the hydrology of the Puget Sound basin. *Hydrological Processes*, 23(6), 907–933. <https://doi.org/10.1002/hyp.7228>
- Davidon, W C. (1959). *VARIABLE METRIC METHOD FOR MINIMIZATION*. United States. <https://doi.org/10.2172/4252678>
- Davidon, William C. (1991). Variable Metric Method for Minimization. *SIAM Journal on Optimization*, 1(1), 1–17. <https://doi.org/10.1137/0801001>
- DeFries, R., & Eshleman, K. N. (2004). Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. *Hydrological Processes*, 18(11), 2183–2186. <https://doi.org/10.1002/hyp.5584>
- Delleur, W. J. (2003). The Evolution of Urban Hydrology: Past, Present, and Future. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(8), 563–573. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2003\)129:8\(563\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:8(563))
- European Parliament. (2007). DIRECTIVE 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks. *Official Journal of the European Union*, (2455), 27–34.
- Fletcher, R. (1970). A New Approach to Variable Metric Algorithms. *Comput. J.*, 13, 317–322.
- Fletcher, R., & Powell, M. J. D. (1963). A Rapidly Convergent Descent Method for Minimization. *The Computer Journal*, 6(2), 163–168.

<https://doi.org/10.1093/comjnl/6.2.163>

- Fletcher, T. D., Andrieu, H., & Hamel, P. (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources*, *51*, 261–279. <https://doi.org/10.1016/J.ADVWATRES.2012.09.001>
- Gilbert, J. C., & Nocedal, J. (1992). Global Convergence Properties of Conjugate Gradient Methods for Optimization. *SIAM Journal on Optimization*, *2*(1), 21–42. <https://doi.org/10.1137/0802003>
- Goldfarb, D. (1970). A Family of Variable-Metric Methods Derived by Variational Means. *Mathematics of Computation*, *24*(109), 23–26. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2004873>
- Grinfelde, I., & Bakute, A. (2017). Urban hydrological response unit parameter calibration and verification for conceptual hydrological model METQ. In *Engineering for Rural Development* (Vol. 16, pp. 1117–1122). <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N236>
- Grinfelde, Inga, & Lauva, D. (2012). Autocalibration feasibility and urbanization dimension integration in regional model METQ. *Conference Proceedings HydroPredict2012, Predictions for Hydrology, Ecology and Water Resources Management: Water Resources and Changing Global Environment*, 61.
- Hernández-Hernández, M., Olcina, J., & Morote, Á.-F. (2020). Urban stormwater management, a tool for adapting to climate change: From risk to resource. *Water (Switzerland)*, *12*(9). <https://doi.org/10.3390/w12092616>
- Jonkman, S. N., & Vrijling, J. K. (2008). Loss of life due to floods. *Journal of Flood Risk Management*, *1*(1), 43–56. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2008.00006.x>
- Kang, I. S., Park, J. II, & Singh, V. P. (1998). Effect of urbanization on runoff characteristics of the On-Cheon Stream watershed in Pusan, Korea. *Hydrological Processes*, *12*(2), 351–363. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199802\)12:2<351::AID-HYP569>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199802)12:2<351::AID-HYP569>3.0.CO;2-O)
- Krams, M., & Ziverts, A. (1993). Experiments of Conceptual Mathematical Groundwater Dynamics and Runoff Modelling in Latvia. *Hydrology Research*, *24*(4), 243 LP – 262. Retrieved from <http://hr.iwaponline.com/content/24/4/243.abstract>
- Kron, W., Steuer, M., Löw, P., & Wirtz, A. (2012). How to deal properly with a natural catastrophe database – analysis of flood losses. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *12*(3), 535–550. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-535-2012>
- Levenberg, K. (1944). A METHOD FOR THE SOLUTION OF CERTAIN

- NON@\_ LINEAR PROBLEMS IN LEAST SQUARES. *Quarterly of Applied Mathematics*, 2, 164–168.
- Li, C. (2007). Quantifying greenhouse gas emissions from soils: Scientific basis and modeling approach. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(4), 344–352. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00133.x>
- Li, X., Hou, J., Pan, Z., Li, B., Jing, J., & Shen, J. (2022). Responses of urban flood processes to local land use using a high-resolution numeric model. *Urban Climate*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101244>
- Mark, O., Weesakul, S., Apirumanekul, C., Aroonnet, S. B., & Djordjević, S. (2004). Potential and limitations of 1D modelling of urban flooding. *Journal of Hydrology*, 299(3–4), 284–299. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2004.08.014>
- Marquardt, D. W. (1963). An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 11(2), 431–441. <https://doi.org/10.1137/0111030>
- Meng, X. (2022). Understanding the effects of site-scale water-sensitive urban design (WSUD) in the urban water cycle: a review. *Blue-Green Systems*, 4(1), 45–57. <https://doi.org/10.2166/BGS.2022.026>
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900.
- Nelder, J. A., & Mead, R. (1965). A Simplex Method for Function Minimization. *The Computer Journal*, 7(4), 308–313. <https://doi.org/10.1093/comjnl/7.4.308>
- Nocedal, J. (1992). Theory of algorithms for unconstrained optimization. *Acta Numerica*, 1, 199–242. <https://doi.org/10.1017/S0962492900002270>
- Polak, E., & Ribière, G. (1969). Note sur la convergence de méthodes de directions conjuguées.
- Polyak, B. (1969). The conjugate gradient method in extremal problems.
- Powell, M. J. D. (1987). Updating conjugate directions by the BFGS formula. *Mathematical Programming*, 38(1), 29. <https://doi.org/10.1007/BF02591850>
- Praskievicz, S., & Chang, H. (2009). A review of hydrological modelling of basin-scale climate change and urban development impacts. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 33(5), 650–671. <https://doi.org/10.1177/0309133309348098>
- Rodriguez, F., Andrieu, H., & Zech, Y. (2000). Evaluation of a distributed model for urban catchments using a 7-year continuous data series. *Hydrological Processes*, 14(5), 899–914. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(20000415\)14:5<899::AID-HYP977>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(20000415)14:5<899::AID-HYP977>3.0.CO;2-R)

- Saedi, J., Sharifi, M. R., Saremi, A., & Babazadeh, H. (2022). Assessing the impact of climate change and human activity on streamflow in a semiarid basin using precipitation and baseflow analysis. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13143-y>
- Schmitt, T. G., Thomas, M., & Ettrich, N. (2004). Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems. *Journal of Hydrology*, 299(3–4), 300–311. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2004.08.012>
- Shanno, D. F. (1970). Conditioning of Quasi-Newton Methods for Function Minimization. *Mathematics of Computation*, 24(111), 647–656. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2004840>
- Techapinyawat, L., Goulden-Brady, I., Garcia, H., & Zhang, H. (2023). Aerial characterization of surface depressions in urban watersheds. *Journal of Hydrology*, 625. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129954>
- United Nations. (2019). *World Population Prospects 2019 Data Booklet*. (Department of Economic and Social Affairs, Ed.) ((ST/ESA/SE). Retrieved from <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- Van de Ven, F. H. M. (1990). Water Balances of Urban Areas. In *Hydrological Processes and Water Management in Urban Areas* (pp. 21–32). IAHS Publication.
- Zhong, R., Li, B., Zhang, X., Dang, H., Zheng, Z., Wang, Z., ... Lyu, H. (2022). Optimal baseflow separation scheme considering both high precision and low cost - take major watersheds in the United States as an example. *Journal of Hydrology*, 612. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128133>
- Zhou, Q., Luo, J., Qin, Z., Su, J., & Ren, Y. (2022). Conceptual planning approach of low impact developments for combined water quality-quantity control at an urban scale: A case study in Southern China. *Journal of Flood Risk Management*, 15(1). <https://doi.org/10.1111/jfr3.12760>
- Ziverts, A. (1976). Расчет ирригационной способности водотоков / А. Зиверт, О. Саука, Я. Тейвенс.
- Ziverts, A., & Jauja, I. (1996). Konceptuālais matemātiskais modelis METQ96 ikdienas caurplūdumu aprēķināšanai izmantojot meteoroloģiskos novērojumus. *LLU Raksti*, 6, 126–133.
- Ziverts, A., & Jauja, I. (1999). Mathematical model of hydrological processes METQ98 and its applications. *Nordic Hydrology*, 30(2), 109–128.
- Ziverts, Ansī. (1997). Water resources of Latvia and a method for determination of the soil water regime in land evaluation. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences Section B Natural Exact and Applied Sciences*, 51(3–4), 97–105. Retrieved from <https://eurekamag.com/research/009/731/009731434.php>