

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
LATVIA UNIVERSITY OF AGRICULTURE

LATVIJAS VALSTS MEŽZINĀTNES INSTITŪTS „SILAVA”
LATVIAN STATE FORESTRY RESEARCH INSTITUTE „SILAVA”

Mg. silv. AIGARS INDRIKSONS

**BIOĒNO ELEMENTU APRĪTE
NOSUSINĀTAJOS MEŽOS**

**CYCLE OF BIOGENOUS ELEMENTS
IN DRAINED FORESTS**

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVĪLKUMS
Dr. silv. zinātniskā grāda iegūšanai

RESUME OF THE PhD PAPER
For the scientific degree of Dr. silv

Jelgava
2010

Promocijas darba zinātniskais vadītājs:
Academic advisor:

Pēteris Zālītis
prof. Dr.habil.silv.

Darbs izpildīts Latvijas Valsts Mežzinātnes institūtā „Silava” laika posmā no 1997. līdz 2009. gadam /
The research was carried out at the Latvian State Forestry Research Institute „Silava” in the time period from 1997 to 2009.

Oficiālie recenzenti / *Official reviewers:*

- Prof., Dr. habil. biol. **Imants Liepa**, Latvijas Zinātnes padomes eksperts zinātnes apakšnozarē „Meža ekoloģija un mežkopība”, LLU Mežzinātņu nozares un Materiālzinātņu nozares Koksnes materiālu un tehnoloģijas apakšnozares promocijas padomes loceklis / *Professor of LUA, expert of the Scientific Board of Latvia in the sub-branch of Forest Ecology and Silviculture, member of the Promotion Council of Forest Sciences and Material Sciences of LUA.*
- Dr. silv. **Kaspars Liepiņš**, LVMI „Silava” vadošais pētnieks / *Leading researcher of LSFRI „Silava”.*
- PhD **Kalev Jōgiste**, Igaunijas Dabaszinātņu universitātes Mežsaimniecības un lauku inženieru institūta Meža bioloģijas katedras vadītājs / *Head of the Department of Forest Biology, Institute of Forestry and Rural Engineering of Estonian University of Life Sciences*

Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Mežzinātņu un Materiālzinātņu nozares promocijas padomes atklātā sēdē 2010. gada 18. martā plkst. 11.30, Jelgavā, Dobeles ielā 41, sēžu zālē / *The PhD paper will be presented for public criticism in an open session of the Promotion Council of Forest Sciences and Material Sciences of Latvia University of Agriculture held on March 18, 2010 at 11.30 o'clock in the conference hall of LUA Department of Wood Processing, Jelgava, Dobeles iela 41.*

Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā, Lielā iela 2, Jelgavā vai <http://llu.fb.llu.lv/llu-theses.htm>. Atsauksmes sūtīt LLU Mežzinātņu un Materiālzinātņu nozares promocijas padomes sekretāram Dr.sc.ing. A. Drēskam Akadēmijas ielā 11, Jelgavā, LV-3001, Latvija

The thesis and resume are available at the Fundamental Library of LUA, Lielā iela 2, Jelgava or <http://llu.fb.llu.lv/llu-theses.htm>. References should be sent to the secretary of the Promotion Council of Forest Sciences and Material Sciences Dr.sc.ing. A. Drēška, Akadēmijas iela 11, Jelgava, LV-3001, Latvia.,

ISBN 978-9934-8104-1-1

Saturs

1. Darba vispārējs raksturojums	5
1.1. Tēmas aktualitāte	5
1.2. Pētījuma mērķis	6
1.3. Promocijas darba uzdevumi.....	6
1.4. Darba novitāte, zinātniskā un praktiskā nozīmība.....	6
1.5. Zinātniskā darba aprobācija.....	7
1.6. Promocijas darba struktūra un apjoms.....	14
2. Pētījuma objekti	15
2.1. Ūdens sateces baseinu raksturojums Vesetnieku ekoloģiskajā stacionārā.....	15
2.2. Baltalkšņu audzes Viesītes un Sunītes upju krastos.....	16
3. Metodika	16
3.1. Vielu aprites raksturošana nosusinātajos mežos.....	16
3.2. Krastmalas baltalkšņu audzes ietekmes raksturošana	17
3.3. Pelnu mēslojuma ietekmes noteikšana	17
3.4. Kokaudzes taksācijas rādītāju novērtēšana.....	18
4. Rezultāti un diskusija.....	19
4.1. Kokaudzes taksācijas rādītāju izmaiņas pēc nosusināšanas	19
4.2. Priedes tekošā pieauguma dinamika.....	20
4.3. Biogēno elementu daudzums gruntsūdeņos	21
4.4. Biogēno elementu iznese no sateces baseiniem ar kūdras augsnēm, hidromorfajām minerālaugsnēm un sausieņu mežiem	23
4.5. Biogēno elementu izneses no meža zemēm modeļi	24
4.6. Biogēno elementu pieplūde ar pazemes spiedes ūdeņiem.....	28
4.7. Biogēno elementu bilances āreņos un kūdreņos.....	31
4.8. Biogēno elementu iznese no baltalkšņu audzēm.....	34
4.9. Koksnes pelnu mēslojuma ietekme uz biogēno elementu daudzumu	36
5. Secinājumi un priekšlikumi	38

Content

1. General description.....	41
1.1. Background.....	41
1.2. Aim of the thesis.....	42
1.3. Objectives of the research.....	42
1.4. Scientific novelty and practical significance of the thesis.....	43
1.5. Approbation of the research results.....	43
1.6. Structure and coverage of the thesis.....	43
2. Research objects.....	44
2.1. Description of the water confluence basins in Vesetnieki Station of Permanent Ecological Research.....	44
2.2. Stands of grey alder on the banks of Rivers Viesīte and Sunīte.....	45
3. Methods.....	46
3.1. Description of cycle of the biogenous elements in drained forests.....	46
3.2. Characterisation of the impact of the riverside grey alder stand.....	47
3.3. Estimation of impact of the ash application.....	47
3.4. Description of the forest stand parameters.....	48
4. Results and discussion.....	49
4.1. Changes of forest stand taxation indices after the drainage.....	49
4.2. Dynamics of the current increment of pine.....	49
4.3. Amount of biogenous elements in groundwater.....	51
4.4. Runoff of the biogenous elements from the water confluence basins with drained peat- and hydro-morph mineral soils and from dry forests.....	51
4.5. Runoff models of biogenous elements from forested lands.....	52
4.6. Inflow of biogenous elements with the confined aquifer water.....	54
4.7. Balance of biogenous elements in drained forests with the peat- and hydro-morph mineral soils.....	57
4.8. Runoff of biogenous elements from the grey alder stands.....	58
4.9. Impact of wood-ash application on the amount of biogenous elements ..	60
5. Conclusions and recommendations.....	62

1. Darba vispārējs raksturojums

1.1. Tēmas aktualitāte

Līdzās meža materiālajām vērtībām nozīmīga loma cilvēces un biosfēras funkcionēšanā ir arī meža ekoloģiskajām funkcijām – oglekļa uzkrāšanai un skābekļa izdalīšanai, ūdens režīma regulēšanai u.c. No visiem vides faktoriem, kuri ietekmē enerģijas plūsmu un uzkrāšanos meža ekosistēmā, tieši kokaugu barības elementu piegāde un aprīte ir visvieglāk ietekmējamas ar meža apsaimniekošanu. Ietekme var būt kā nevēlama (barības vielu zudumi vai imobilizācija), tā arī vēlama (vielu aprītes un pieejamības uzlabošana). Lai gan 95% no augu sausnes masas sastāda ogleklis, ūdeņradis, skābeklis un slāpeklis, tomēr tieši slāpeklis, fosfors, kālijs, kalcijs un magnijs ir tie, kas visvairāk limitē kokaugu sekmīgu augšanu un attīstību.

Viens no mūsdienu mežsaimniecības galvenajiem kritērijiem ir nepārtraukta un paplašināta meža resursu atražošana, kas Latvijas apstākļos vispirms saistās ar pārmitro meža ekosistēmu hidrotehnisko meliorāciju. Latvijā ir 1.5 miljoni hektāru pārmitru un pārpurvotu mežu, no kuriem pašlaik meliorēti apmēram 700 tūkstoši hektāru. Hidrotehniskā meliorācija ir viens no efektīvākajiem mežsaimnieciskajiem pasākumiem, kā rezultātā vidējā mežaudžu krāja uz hektāra pēdējo 100 gadu laikā palielinājusies no 100 m³ līdz 180 m³ (Zālītis, 1999).

Līdzšinējie pētījumu rezultāti mums nodrošina iespēju argumentēti apliecināt meliorācijas pozitīvo ietekmi uz kokaudžu ražību, ogļskābās gāzes akumulāciju, skābekļa izdalīšanos, kā arī uz meža bioloģiskās daudzveidības nodrošināšanu ekosistēmu līmenī. Taču mūsu rīcībā līdz šim nebija objektīvu datu par augsnes auglības izmaiņām meliorētajos mežos saistībā ar iespējamo biogēno vielu pastiprinātu izskalošanos no meža augsnēm, kā arī par ūdens kvalitātes izmaiņām dabiskajās promtekās meliorācijas rezultātā.

Pēc iestāšanās Eiropas Savienībā, Latvijai jāveido sava likumdošana saskaņā ar starptautiskajām prasībām. Vides aizsardzības jomā šīs prasības saistās ar informāciju par dabas vides stāvokli. Tādēļ jāveic pašreizējā stāvokļa saskaņošana ar vairākiem starptautiskiem vides aizsardzības normatīvajiem dokumentiem (ES direktīva par nitrātu piesārņojumu no lauksaimniecības avotiem (91/676/EEC), direktīva par saldūdeņu kvalitāti (78/659/EEC), konvencija Par Baltijas jūras vides aizsardzību, Helsinki, 1992. g. (1994) u.c.). Līdzšinējā informācija par biogēno elementu iznesi ar virszemes noteci ir visai fragmentāra un galvenokārt attiecas uz lauksaimniecības zemēm.

Mežu meliorācijā pagājušā gadsimta laikā ieguldīts liels darbs un līdzekļi. Tikai 90.-tajos gados, finanšu trūkuma dēļ, meliorācijas darbi gandrīz pilnībā apstājušies. Izveidojoties akciju sabiedrībai „Latvijas valsts meži”, kuras darbība ir vērsta uz meža ražības paaugstināšanu saimnieciskajos mežos, hidrotehniskā meliorācija ir atguvusi savu aktualitāti. Tas pats attiecas arī uz zemnieku

saimniecībām, kuru rīcībā nereti nonākušas mazproduktīvas un pārpuvotas mežu platības.

Latvijas pārmitro mežu ūdens bilanci un vielu apriti nosaka vietējie meteoroloģiskie apstākļi un reģiona hidroģeoloģiskās īpatnības. Tādēļ kritiski jāvērtē citās valstīs izstrādāto modeļu automatiska pielietošana mūsu apstākļos. Pierādīts, ka pārmitro mežu izvietošanu Latvijā nenosaka nokrišņu daudzums, bet gan ar kalciju un magniju bagāto pazemes spiedes ūdeņu izplūdes rajoni. Tādejādi ir iespējama meža izveidošanās uz vairākus metrus bieza kūdras slāņa. Lai noteiktu barības vielu izskalošanās dinamiku un ķīmisko elementu dabisko fonu nosusināto mežu ūdeņos ir jāveic ilgstoši novērojumi.

Lai raksturotu mežsaimniecisko pasākumu (galvenokārt hidrotehniskās meliorācijas un kopšanas ciršu) ietekmi uz mežaudžu struktūru un meža hidroģeoloģisko režīmu, jau 1963. gadā Mežu pētīšanas stacijas "Kalsnava" teritorijā izveidots Vesetnieku ekoloģiskais stacionārs. Nosusināto mežu ūdens sateces baseinos pētīts noteces un nokrišņu režīms, gruntsūdens līmeņa svārstības, pazemes spiedes ūdeņu loma meža ekosistēmā. Analizēta arī meža dzīvās zemsedzes sukcesija. Regulāri pārņemti taksācijas rādītāji kokaudzū parauglaukumos. 1997. gadā tika uzsākta arī grunts-, pazemes-, grāvju noteces un nokrišņu ūdens paraugu sistemātiska ievākšana un ķīmisko analīžu izdarīšana.

1.2. Pētījuma mērķis

Darba mērķis bija noteikt biogēno elementu daudzumu un to ieneses-izneses attiecības nosusināto mežu ūdeņos hidrotehniskās meliorācijas kā mežsaimnieciska pasākuma novērtēšanas sakarā.

1.3. Promocijas darba uzdevumi

1. Novērtēt biogēno elementu daudzuma izmaiņas augsnes gruntsūdenī laika posmā pēc meliorācijas.
2. Raksturot biogēno elementu daudzumu atmosfēras nokrišņos mežaudzēs un klajumā.
3. Raksturot biogēno elementu pieplūdi ar pazemes spiedes ūdeņiem kūdreņu meža tipos.
4. Novērtēt biogēno elementu daudzumu ūdenī un to iznesi nosusināto mežu promtekās.
5. Izstrādāt modeļus biogēno elementu (N, P, K, Ca, Mg) aprites raksturošanai nosusinātajos mežos.

1.4. Darba novitāte, zinātniskā un praktiskā nozīmība

Vairākas zinātnieku paaudzes ir strādājušas pie jautājuma par meža ražības uzlabošanu pēc nosusināšanas. Pie jautājuma par dzīvās zemsedzes izmaiņām pēc meliorācijas strādājuši K. Bušs un A. Āboliņa, par meža hidroģeoloģijas jautājumiem – P. Zālītis. Vesetnieku stacionārs tika nodibināts, lai būtu pretargumenti Poļesjē uzsāktajiem milzīgajiem dabas pārveidošanas plāniem. Tika

uzsākti ilglaicīgi novērojumi. Tika veikti ūdens aprites kvantitatīvie mērījumi. Tomēr ilgi nebija informācijas par to, kas notiek ar biogēno elementu apriti pēc meža nosusināšanas. Tādēļ 1997. gadā, promocijas darba ietvaros, tika uzsākti biogēno elementu daudzuma mērījumi stacionāra ūdeņos. Promocijas darbā iegūtie secinājumi balstās uz lielu skaitu atkārtoti ievāktu ūdens paraugu analīžu rezultātu, kuri raksturo biogēno elementu daudzuma dinamiku nokrišņos klajumā, caur kokaudzes vainagiem uz augsnes nonākušajos nokrišņos, augsnes gruntsūdenī un pazemes spiedes ūdenī, meliorācijas grāvjos un dabiskajās promtekās. Doktora darba ietvaros Vesetnieku stacionārā ievākti 2 518 ūdens paraugi un izdarītas 17 600 ūdens ķīmiskās analīzes (49 atkārtojumi).

Iegūto rezultātu salīdzināšanai un atziņu ticamības pārbaudei veiktas ūdens ķīmiskās analīzes Sunītes un Viesītes upēs, saistībā ar baltalkšņu audžu izvietojumu to krastos, kā arī organizēts koksnes pelnu mēslojuma iestrādes eksperiments (50 t ha^{-1}) Vesetnieku ekoloģiskajā stacionārā.

Vesetnieku ekoloģiskajā stacionārā veiktie biogēno elementu daudzuma mērījumi saistībā ar ūdens aprites kvantitatīvajiem rādītājiem ir uzskatāmi par vienīgajiem tik plaša apjoma uz ilglaicīgu novērojumu bāzes iegūtajiem datiem Latvijā un vieni no retajiem pasaulē.

Promocijas darbā iegūtie rezultāti parāda, ka nosusināto mežu ekosistēma tajā ienākošos barības elementus akumulē un racionāli izmanto koksnes pieauguma veidošanai. Ar nokrišņiem ienesto biogēno elementu – slāpekļa, fosfora un kālija daudzums pārsniedz šo elementu iznesi ar grāvju noteci. Augstražīgu kokaudžu veidošanos uz dziļas kūdras nodrošina ar kalciju un magniju bagāto pazemes ūdeņu pieplūde.

1.5. Zinātniskā darba aprobācija

Zinātniskās publikācijas par darba tēmu

1. Indriksons A. (1997) Baltalkšņa ietekme uz slāpekļa vielu apriti virszemes notecē. **No:** *Studentu zinātniskās konferences tēzes*: 1997. gada aprīlī, maijā. Atb. par izdevumu A. Markevica. - Jelgava: LLU, 69.–70. lpp.
2. Indriksons A. (2000) Vielu aprites pētījumi Viesītes un Vesetas upju sateces baseinu mežaudzēs. **No:** *LLU Meža fakultātes zinātniski praktiskā konference*. Referātu tēzes, 1999. gada 22. septembrī. Jelgava: LLU, 20.–22. lpp.
3. Indriksons A. (2000) Krastmalas baltalkšņu audzes ietekme uz biogēno vielu apriti upes ūdeņos. *Mežzinātne*, 9(42) laid., 85.-98. lpp.
4. Indriksons A., Zālītis P. (2000) The impact of hydrotechnical drainage on the cycle of some biogenous elements in forest. *Baltic Forestry*, Vol. 6, No. 1(10), p. 18-24.

5. Indriksons A., Zālītis P. 2000. Influence of drainage on water quality in the wetlands forests. **In:** *Sustaining Our Peatlands*: Proceedings of the 11th International Peat Congress, August 6th-12th, 2000, Volume II. Edited by L. Rochefort and J.-Y. Daigle. Québec, p. 943–950.
6. Indriksons A., Zālītis P. (2000) The impact of hydrotechnical drainage on the cycle of some biogenous elements in forest. **In:** *Book of Abstracts of the Conference on monitoring and modeling catchment water quantity and quality*, September 27th-29th, 2000. Edited by N.E.C. Verhoest, Y.J.P. Van Herpe and F.P. De Troch. Ghent, p. 205.
7. Indriksons A. (2000) Forest stand productivity and soil fertility in drained pine forests on peaty soils. *Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti*. Jelgava: LLU, Nr.3, 65.-72.lpp.
8. Indriksons A. (2001) Starptautiskais mitrzemju zinātnes forums “Quebec 2000: Millenium Wetland Event”. *Mežzinātne*, 10(43), 104.- 112. lpp.
9. Indriksons A. (2001) Dabas aizsardzības izpratne mūsdienu sabiedrībā. **No:** *Starptautiskā zinātniskā konference “Komunikācija un kopība”*: raksti, , 17.-18. maijs, Jelgava. Jelgava: LLU, Humanitārais institūts, p.114-119.
10. Indriksons A., Zālītis P. (2001) Hidrotehniskās meliorācijas nozīme mežsaimniecībā. **No:** *II Pasaules latviešu zinātnieku kongress: tēžu krājums*: 2001. gada 14. – 15. augusts. Rīga: Latvijas Zinātņu akadēmija, 485. lpp.
11. Indriksons A., Zālītis P. (2001) Priedes tekošā pieauguma dinamika mežos ar atšķirīgu nosusināšanas pakāpi. **No:** *Zinātniski praktiskā konference: referātu tēzes. LLU Meža fakultāte. 2001. gada 24. – 27. aprīlis*. Jelgava: LLU, 8.-11. lpp.
12. Indriksons A. (2001) Ekoloģisko faktoru ietekme uz priedes pieauguma dinamiku nosusinātos mežos. **No:** *Zinātne lauku attīstībai: starptautiskās zinātniskās konferences referāti*, Jelgavā, 2001. g. 23.-25.maijs. Jelgava: LLU, 163.-169. lpp.
13. Indriksons A. (2002) Biogēno elementu aprīte nosusinātajās meža ekosistēmās. **No:** *Latvijas Universitātes 60. zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne*. Referātu tēzes. Rīga, 2002. gada janvāris.– februāris. LU. Rīga: Latvijas Universitāte, 57.-58. lpp.
14. Indriksons A. (2002) Dabas aizsardzības izpratne mūsdienu sabiedrībā. **No:** *Starptautiskā zinātniskā konference “Komunikācija un kopība”*: raksti, , Jelgava, 17.-18. maijs 2001. LLU. Jelgava: LLU, Humanitārais institūts, 114.-119. lpp.
15. Zālītis P., Indriksons A. (2003) Pazemes spiedes ūdeņu ietekme uz pārpuvoto un meliorēto mežu ražību Latvijā. *Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti*. Jelgava: LLU, Nr. 9 (304), 38.-45. lpp.

16. Indriksons A. (2003) Pelnu mēslojuma ietekme uz zemsedzes augu veģetāciju priežu mežos ar nosusinātām kūdras augsnēm. **No:** *Latvijas Universitātes 61. Zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne: referātu tēzes.* - Rīga: Latvijas Universitāte, 55.-59. lpp.
17. Indriksons A., Zālītis P. (2003) Cycle of mineral nutrients in the forest ecosystems in Latvia. **In:** *International Symposium "Towards the sustainable use of Europe's forests. Forest ecosystem and landscape research: scientific challenges and opportunities"*. Abstract Book. Tours, France: EFI, IUFRO, COST, ECOFOR, ENFORS, 25-27 June 2003, p. 63.
18. Indriksons A., Gaitnieks T., Zālītis P. (2003) Wood ash application in forests on drained peat soils in Latvia. *Aktuelt fra skogforskningen*, No.8, Proceedings from a Nordic – Baltic Workshop on Forest Nutrient Dynamics and Management May 20-22, 2003, Honne, Norway. Edited by P. Nilsen. Ås: Norsk institut for skogforskning, Institut for naturforvaltning, p. 10-14.
19. Indriksons A., Zālītis P. (2004) Gruntsūdens kvalitāte, zemsedzes augājs un barības vielu daudzums kūdras augsnes mežaudzēs pelnu mēslojuma ietekmē **No:** *Latvijas Universitātes 62. Zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. Referātu tēzes.* Rīga: Latvijas Universitāte, 56.-59. lpp.
20. Indriksons A., Zālītis P. (2004) Cycle of water and biogenous elements in the forest ecosystems in Latvia. **In:** *Towards the Sustainable use of Europe's Forests - Forest Ecosystem and Landscape Research: Scientific Challenges and Opportunities: EFI proceedings.* Edited by F. Andersson, Y. Birot, R. Päivinen.- Joensuu. European Forest Institute, No.49, 25-27 June 2003, Tours, France. Tours: EFI, 2004, p.199-128.
21. Zālītis P., Indriksons A. (2004) Spruce forest on Latvian peatlands. **In:** *Proceedings of the 12th International Peat Congress „Wise use of peatlands"*. Tampere, Finland 6-11 June 2004. Volume 2. Poster Presentation. Editor: J. Päivänen.- Saarijärvi: International Peat Society, IMTG, MTO, Suoseura – Finnish Peatland Society, p. 1287-1291.
22. Indriksons A., Zālītis P. (2004) The influence of confined aquifer water on the productivity of wetland forests in Latvia. **In:** *INTECOL 7th International Wetlands conference.* Abstracts of keynote lectures, oral presentations and posters. Utrecht, The Netherlands, 25-30 July 2004. Edited by Jos T.A. Verhoeven, E. Dorland, M. Coemans. Utrecht: Universiteit Utrecht, p. 138.
23. Indriksons A. (2004). Mežsaimniecisko pasākumu ietekme uz biogēno elementu apriti meža ekosistēmās. **No:** *III Latvijas Ģeogrāfijas kongress. Latvijas ģeogrāfija Eiropas dimensijās.* 5.-6. novembris, 2004. Rīga: Latvijas Ģeogrāfijas biedrība, 60.-61. lpp.
24. Indriksons A. (2005) Ūdens kvalitāte Latvijas meža ekosistēmās. **No:** *Latvijas Universitātes 63. Zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija.*

- Vides zinātne. Referātu tēzes.* Rīga: Latvijas Universitāte. LU Akadēmiskais apgāds, 44.-46. lpp.
25. Indriksons A., Zalitis P., Liepa I., Donis J. (2005) Latvia: historical overview, current status and capacity, prospects, gateways to national research. **In:** *European long-term research for sustainable forestry: Experimental and monitoring assets at the ecosystem and landscape level.* Part 1. Country reports. Technical Reports. Edited by A. Mårell and E. Leitgeb. Malmö: COST Action E25, ENFOR, p. 165-181.
 26. Indriksons A., Palejs M. (2005) Dabas vērtību ilgtspējīga uzturēšana un jaunu attīstīšana. **No:** Ceļvedis Latvijas privāto mežu īpašniekiem. Sast. J. Ošlejs.- Salaspils, Rīga: LVMI "Silava", Izdevniecība "Et cetera" SIA, 187.-196. lpp.
 27. Indriksons A., Zalitis P. (2005) Water quality in Latvian forest ecosystems. **In:** *The International Forestry Review. Forests in the Balance: Linking Tradition and Technology.* XXII IUFRO World Congress, 8-13 August 2005. Abstracts. Editors J.L. Innes, I.K. Edwards and D.J. Wilford. Brisbane: Commonwealth Forestry Association, p. 395.
 28. Indriksons A., Gaitnieks T., Leikuss E. (2005) Impact of silvicultural activities on decomposition of litter. **In:** *Focus on Soils: Symposium 14-16 September 2005 in Uppsala: "Managing soils for the future".* Programme and abstracts. Editors: A. Gärdenäs and E. Karlton. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, p. 84.
 29. Indriksons A. (2006) Pelnu mēslojuma ietekme uz koku pieaugumu, gruntsūdens kvalitāti un zemsedzes augu veģetāciju priežu mežos uz kūdras augsnēm. **No:** *Latvijas Universitātes 64. Zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne.* 30. janvāris - 3. februāris, 2006. Rīga: Latvijas universitāte, 40.-41. lpp.
 30. Indriksons A. (2006) Hidroloģiskais monitorings Latvijas purvos. **No:** *Latvijas Universitātes 64. Zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne.*, 30. janvāris-3. februāris, 2006. Rīga: Latvijas Universitāte, 234.-236. lpp.
 31. Indriksons A. (2006) Baltalksnis kā koku suga – botāniskais apraksts. **No:** *Baltalksnis Latvijā.* Red. K. Kalniņa. Salaspils: Latvijas Valsts Mežzinātnes institūts "Silava", 7.-18. lpp.
 32. Indriksons A. (2006) Baltalkšņa loma meža ekosistēmās. **No:** *Baltalksnis Latvijā.* Red. K. Kalniņa. Salaspils: Latvijas Valsts Mežzinātnes institūts "Silava". 19.-36. lpp.
 33. Pakalne M., Indriksons A. (2007) Species and habitat diversity of the protected mires in Latvia. **In:** *Multi Functions of Wetland Systems.* Proceedings of the International Conference. Legnaro. Padova. Italy. 26-29 June 2007, p. 186-187.

34. Indriksons A, Pakalne M., Bernane L., Abolins A. (2007) Hydrological studies in the LIFE project "Mires" sites in Latvia. **In:** *XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists "Groundwater and Ecosystems"*: abstract book. 17-21 September 2007, Lisbon, Portugal. Edited by L. Ribeiro, A. Chambel and M.T. Condesso de Melo. Lisbon., p. 181-182.
35. Apsīte E., Indriksons A. (2007) Quantification of nutrient loads from diffuse and point sources into inland surface waters in Latvia. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences*. Section B: Natural, Exact, and Applied Sciences, No. 1./2, p.59-65.
36. Salmiņa L., Indriksons A. (2008) Differences in hydrology and species composition between two habitats of *Erica tetralix* L. in Latvia. **In:** 22nd Expedition of the Baltic Botanists. Abstracts and excursion guides. July 14–17, 2008, Daugavpils, Latvia. Daugavpils: Daugavpils University Academic Press "Saule", p.54.
37. Zālītis P., Indriksons A. (2008) The hydrological properties of waterlogged and drained forests in Latvia. **In:** III International conference „Forest and water”. 14.-17.09.2008, Mragowo, Poland. Mragowo: Polish Forest Research Institute, Norwegian Forest and Landscape Institute, p. 62-63.
38. Indriksons A. (2008) Gruntsūdens līmeņa monitorings LIFE projekta „Purvi” vietās. **No:** *Purvu aizsardzība un apsaimniekošana īpaši aizsargājamās dabas teritorijās Latvijā*. Red. M. Pakalne. Rīga: Latvijas Dabas fonds, 142.-151. lpp.

Promocijas darba rezultātu prezentācija zinātniskajās konferencēs

1. LLU Meža fakultātes zinātniski praktiskā konference, 1999. gada 22. septembris, Jelgava. Referāts: Indriksons A. Vielu aprites pētījumi Viesītes un Vesetas upju sateces baseinu mežaudzēs.
2. 11th International Peat Congress, August 6th-12th, 2000, Quebec. Stenda referāts: Indriksons A., Zālītis P. Influence of drainage on water quality in the wetlands forests.
3. Conference on monitoring and modeling catchment water quantity and quality, September 27th-29th, 2000, Ghent. Stenda referāts: Indriksons A., Zālītis P. The impact of hydrotechnical drainage on the cycle of some biogenous elements in forest.
4. LLU Meža fakultātes Zinātniski praktiskā konference no 2001. gada 24. līdz 27. aprīlim, Jelgava. Referāts: Indriksons A., Zālītis P. Priedes tekošā pieauguma dinamika mežos ar atšķirīgu nosusināšanas pakāpi.

5. Starptautiskā doktorantu zinātniskā konference “Zinātne – lauku attīstībai” no 2001. gada 23. līdz 25. maijam Jelgavā, LLU. Referāts: Indriksons A. Ekoloģisko faktoru ietekme uz priedes pieauguma dinamiku nosusinātos mežos.
6. II Pasaules latviešu zinātnieku kongress no 2001. gada 14. līdz 15. augustam, Rīgā. Referāts: Indriksons A., Zālītis P. Hidrotehniskās meliorācijas nozīme mežsaimniecībā.
7. Latvijas Universitātes 60. zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne, LU, Rīga, 2002. gada janvāris – februāris. Referāts: Indriksons A. Biogēno elementu aprīte nosusinātajās meža ekosistēmās.
8. LLU Meža fakultātes Zinātniski praktiskā konference no 2002. gada 23. līdz 26. aprīlim, Jelgava. Referāts : Indriksons A. Biogēno elementu izneses no meža zemēm modeļi.
9. Latvijas Universitātes 61. zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. LU, 2003. gada janvāris–februāris, Rīga. Referāts: Indriksons A. Pelnu mēslojuma ietekme uz zemsedzes augu veģetāciju priežu mežos ar nosusinātām kūdras augsnēm.
10. Nordic – Baltic Workshop on Forest Nutrient Dynamics and Management, May 20-22, 2003, Honne, Norway. Referāts: Indriksons A., Gaitnieks T., Zālītis P. Wood ash application in forests on drained peat soils in Latvia.
11. International Symposium “Towards the sustainable use of Europe’s forests. Forest ecosystem and landscape research: scientific challenges and opportunities”, 25-27 June 2003, Tours, France. Stenda referāts: Indriksons A., Zālītis P. Cycle of mineral nutrients in the forest ecosystems in Latvia.
12. Latvijas Universitātes 62. zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. LU, 2004. gada janvāris–februāris, Rīga. Referāts: Indriksons A., Zālītis P. Gruntsūdens kvalitāte, zemsedzes augājs un barības vielu daudzums kūdras augsnes mežaudzēs pelnu mēslojuma ietekmē.
13. 12th International Peat Congress. Wise use of peatlands, 6-11 June 2004, Tampere, Finland. Stenda referāts: Zālītis P., Indriksons A. Spruce forest on Latvian peatlands.
14. 7th INTECOL International Wetlands conference, 25-30 July 2004, Utrecht, The Netherlands. Stenda referāts: Indriksons A., Zālītis P. The influence of confined aquifer water on the productivity of wetland forests in Latvia.
15. LLU Meža fakultātes 65 gadu jubilejai veltītā Zinātniski praktiskā konference “Zinātne un prakse nozares attīstībai”, 2004. gada 3.-4. novembris, Jelgava. Referāts: Indriksons A. Pelnu mēslojuma ietekme uz gruntsūdens kvalitāti un zemsedzes augāju.

16. III Latvijas Ģeogrāfijas kongress. "Latvijas ģeogrāfija Eiropas dimensijās". Latvijas Universitāte, Latvijas Ģeogrāfijas biedrība, 2004. gada 5.-6. novembris, Rīga. Referāts: Indriksons A. Mežsaimniecisko pasākumu ietekme uz biogēno elementu apriti meža ekosistēmās.
17. Latvijas Universitātes 63. zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. LU, 2005. gada 24.-31. janvāris, Rīga. Referāts: Indriksons A. Ūdens kvalitāte Latvijas meža ekosistēmās.
18. XXII IUFRO World Congress. Brisben, Australia. 8-13 August 2005. Stenda referāts: Indriksons A. Zālītis P. Water quality in Latvian forest ecosystems.
19. 2nd workshop in the LIFE Nature Co-op Project "Dissemination of ecological knowledge and practical experiences for sound planning and management in raised bogs and sea dunes". Lielupe (Latvia) and Nigula (Estonia). 22-26 August 2005. Stenda referāts: Indriksons A., Pakalne M., Matvejs J. Hydrological and vegetation studies in LIFE "Mire" Project sites in Latvia.
20. Focus on Soils Symposium: „Managing soils for the future”. Uppsala, Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences. 14-16 September 2005. Stenda referāts: Indriksons A., Gaitnieks T., Leikuss E. Impact of silvicultural activities on decomposition of litter.
21. Latvijas Universitātes 64. Zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. LU, 2006. gada 30. janvāris-3. februāris, Rīga. Referāts: Indriksons A. Pelnu mēslojuma ietekme uz koku pieaugumu, gruntsūdens kvalitāti un zemsedzes augu veģetāciju priežu mežos uz kūdras augsnēm.
22. Latvijas Universitātes 64. Zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. LU, 2006. gada 30. janvāris- 3. februāris, Rīga. Referāts: Indriksons A. Hidroloģiskais monitorings Latvijas purvos.
23. Meža fakultātes Zinātniski praktiskā konference. LLU Meža fakultāte, 2006. gada 15.-16. marts, Jelgava. Referāts: Indriksons A. Latvijas purvu hidroloģiskā izpēte.
24. 24. Ziemeļvalstu Hidroloģijas konference Dānijā: The XXIV Nordic Hydrological Conference: Experiences and Challenges in Implementation of the EU Water Framework Directive. Vingsted Centret, Denmark, 6-9 August 2006. Referāts: Apsīte E., Indriksons A. Quantification of nutrients from diffuse and point sources among the river basins and districts in Latvia.
25. The International Conference on Multi Functions of Wetland Systems. 2007. gada 26.-29. jūnijs. Padova. Itālija. Referāts: Pakalne M., Indriksons A. Species and habitat diversity of the protected mires in Latvia.

26. The XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists "Groundwater and Ecosystems". 2007. gada 17.-21. septembris. Lisabonna. Portugāle. Stenda referāts: Indriksons A, Pakalne M., Bernāne L., Āboliņš A. Hydrological studies in the LIFE Project "Mires" sites in Latvia.
27. LLU Meža fakultātes Zinātniski praktiskā konference "Zinātne un prakse nozares attīstībai". 2008. gada 16. un 17. aprīlis, Jelgava. Referāts: Indriksons A. Izmaiņas augsto purvu hidroloģiskajā režīmā pēc dambju būves.
28. LLU Meža fakultātes Zinātniski praktiskā konference "Zinātne un prakse nozares attīstībai". 2008. gada 16. un 17. aprīlis, Jelgava. Referāts: Indriksons A., Mežals H. Grīņa meža tipa ekoloģiskie rādītāji un augsne.
29. 22nd Expedition of the Baltic Botanists. Daugavpils, Latvia, July 14 – 17, 2008. Referāts: Salmiņa L., Indriksons A Differences in hydrology and species composition between two habitats of *Erica tetralix* L. in Latvia.
30. III International conference „Forest and water”. Mragowo, Poland, 14.-17.09.2008. Referāts: Zalītis P., Indriksons A. The hydrological properties of waterlogged and drained forests in Latvia.
31. Latvijas Universitātes 67. Zinātniskā konference. Zemes un vides zinātņu nozares. LU, 2009. gada 28. janvāris – 4. februāris, Rīga. Referāts: Indriksons A. Gruntsūdens līmeņa monitorings Latvijas purvos.

1.6. Promocijas darba struktūra un apjoms

Promocijas darbs veltīts meža nosusināšanas kvantitatīvo aspektu izziņai, ietverot gan plaši pētīto ietekmi uz audžu produktivitātes palielināšanos, gan maz zināmo biogēno elementu apriti pēc platību nosusināšanas.

Promocijas darbs satur ievadu, četras nodaļas (literatūras apskats, pētījuma objekti, metodika, rezultāti un diskusija), secinājumus un literatūras avotu sarakstu.

Ievadā raksturota meža nosusināšanas nepieciešamība, starptautiskās saistības vides aizsardzības jomā, Latvijas pārmitro mežu ūdens bilances un vielu aprites īpatnības, norādīts darba mērķis un uzdevumi. Pirmajā nodaļā analizētas esošās zināšanas par nosusinātajām meža ekosistēmām, par vielu, enerģijas un informācijas apriti tajās, par šo ekosistēmu produktivitāti, par biogēno elementu (N, P, K, Ca, Mg) un pH lomu, par nozīmīgākajām pētniecības metodēm un mežsaimniecisko pasākumu ietekmi uz biogēno elementu apriti. Nodaļas nobeigumā dots kopsavilkums par līdzšinējo izpētes līmeni un pētījuma nepieciešamības pamatojums. Otrajā nodaļā dots detalizēts pētījuma objektu apraksts – tā sadalīta 5 apakšnodaļās. Trešajā nodaļā raksturota pētījuma metodika – vielu aprites un kokaudžu taksācijas rādītāju datu ieguve, kā arī pielietotās datu matemātiskās apstrādes metodes. Nodaļa sadalīta 5 apakšnodaļās. Ceturtā nodaļa, kas sadalīta 9 apakšnodaļās, satur promocijas darba rezultātus un diskusiju. Analizēti un ar jaunu informāciju papildināti vairāki nozīmīgi nosināto mežu ekosistēmu aspekti: kokaudzes taksācijas rādītāju izmaiņas; priedes tekošā

pieauguma dinamika; biogēno elementu daudzums gruntsūdeņos; biogēno elementu iznese no sateces baseiniem ar kūdras un hidromorfajām minerālaugsnēm, kā arī no sausieņu mežiem; biogēno elementu izneses modeļi; biogēno elementu pieplūde ar pazemes spiedes ūdeņiem; biogēno elementu bilance āreņos un kūdreņos; biogēno elementu izskalošanās no baltalkšņu audzēm un koksnes pelnu mēslojuma ietekme uz biogēno elementu daudzumu augsnē un gruntsūdenī. Darbu noslēdz secinājumi un priekšlikumi.

Promocijas darba apjoms ir 155 lapaspuses; informācija apkopota 26 tabulās un 65 attēlos; izmantoti 224 literatūras avoti. Darba noslēgumā formulēti 12 secinājumi un 3 priekšlikumi.

2. Pētījuma objekti

2.1. Ūdens sateces baseinu raksturojums Vesetnieku ekoloģiskajā stacionārā

Vesetnieku ekoloģiskais stacionārs atrodas Valsts meža dienesta pārziņā esošās struktūras – Zinātniskās izpētes mežu Kalsnavas meža novada teritorijā un aizņem 386.3 ha lielu platību. Stacionāra ģeogrāfiskās koordinātas: austrumu garums no 25°50' līdz 25°53'; ziemeļu platums no 56°42' līdz 56°43'.

Hidrogrāfisko tīklu veido Vesetas upe, kas sadala stacionāra teritoriju divās daļās, kā arī nosusināšanas grāvju sistēmas. Stacionāra teritorijas ģeoloģiskā uzbūve rada priekšnoteikumus pazemes spiedes ūdeņu izplūdei. Vesetas upes kreisajā krastā pazemes ūdens pjezometriskais līmenis vidēji atrodas 80 cm augstāk par zemes virsmu. Vietām plaisas ir pildītas ar ūdeni zem tāda spiediena, kas izraisa ūdens pacelšanos gruntsūdens novērošanas akās līdz 2 m virs kūdras virsmas. Tādēļ šeit izveidojusies īpaši pārmitra zona un kūdras slāņa biezums vietām pārsniedz 5.5 m. Vesetas upes labajā krastā pārsvarā ir meži ar hidromorfām minerālaugsnēm, kur kūdras slāņa biezums nepārsniedz 30-40 cm. Tas norāda uz mazāk intensīvu pārpurvošanās procesu salīdzinājumā ar kreisā krasta platībām. Stacionāra teritorijā ir platības, kur pazemes ūdens pjezometriskais līmenis ir pat 8.6 m dziļi zem augšnes virsmas.

Pašreizējo meliorēto mežaudžu vietā pirms tam bijis zāļu-pārejas tipa purvs, kas tika intensīvi nosusināts ar grāvju un segtās drenāžas palīdzību. Grāvji ar dziļumu 1.1–1.2 m izrakti 1960. gadā un divus gadus vēlāk vietām 80–90 cm dziļumā ierīkota segtā drenāža.

Vesetas upes kreisajā krastā esošie 1., 2., un 3. stacionāra ūdens sateces baseini atrodas uz nosusinātām kūdras augsnēm, bet upes labajā krastā esošie 4. un 5. baseini - uz nosusinātām hidromorfajām minerālaugsnēm. Pirmā ūdens sateces baseina kopējā platība ir 33 ha, otrā baseina – 113.7 ha, trešā – 139.1 ha, ceturrtā – 67.3 ha, bet piektā – 33.2 ha.

Vesetnieku ekoloģiskajā stacionārā – priežu meža nogabalos starp nosusināšanas grāvjiem veikts arī pelnu mēslojuma iestrādes eksperiments.

2.2. Baltalkšņu audzes Viesītes un Sunītes upju krastos

Pētījums par baltalkšņa (*Alnus incana* (L.) Moench) lomu biogēno elementu iznesē ar virszemes ūdeņiem veikts divās tam piemērotās baltalkšņu audzēs Aizkraukles rajonā Seces mežniecības teritorijā pie Lielupes baseina upēm – Viesītes un tās pietekas Sunītes.

Viesīte ir sekla, bet strauja upe, kuras kopējais garums - 61 km. Tās krastos pārsvarā atrodas lauksaimniecības zemes un pļavas. Pētījuma vietā upe veido 169 km² lielu ūdens sateces baseinu. Savukārt Sunītes upe ir 8 km gara, bet tās sateces baseina platība - 31.5 km², kuru gandrīz pilnībā klāj mežs.

Viesītē upē ūdens paraugi ņemti cauri Seces mežniecības 184. kvartāla nogabaliem plūstošā 950 m garā upes posmā. Audzes kopējā platība ir aptuveni 19 ha. Sunītes upē ūdens paraugi ņemti cauri mežniecības 170. kvartāla un 171. kvartāla nogabaliem plūstošā 590 m garā upes posmā. Audzes kopējā platība ir aptuveni 16 ha. Baltalkšņu audzes pie abām upēm, katrā nogabalā ir ar atšķirīgu vecumu (4-35 gadi) un dažādu citu koku sugu – egles, bērza, melnalkšņa un oša piemistrojumu.

3. Metodika

3.1. Vielu aprites raksturošana nosusinātajos mežos

Meža ūdenssaimniecības mērījumi Vesetnieku ekoloģiskajā stacionārā uzsākti jau 1963. gadā un gadu gaitā papildināti ar jauniem mērījumu veidiem. Kopš 1963. gada mērīti lietus un sniega nokrišņi klajumā ar 0.2 mm (1 cm³) precizitāti (Tretjakova nokrišņu uztvērējs) – ikdienu. Šajā gadā uzsākti arī augsnes gruntsūdens līmeņa mērījumi 3 reizes mēnesī. Ierīkoti arī dziļurbumi pazemes spiedes ūdeņu pjezometriskā līmeņa mērīšanai. 1966. gadā ūdens sateces baseiniem, to zemākajā lejteces punktā, uz nosusināšanas grāvja ierīkots hidrometriskais postenis jeb ūdens noteces mērīšanas pārgāze, kur ar *Bandaū* tipa pašrakstītāju nepārtraukti mērīts ūdens caurplūdums. 1967. gadā ar biežumu 3 reizes mēnesī uzsākti lietus un sniega nokrišņu daudzuma mērījumi zem mežaudzes vainagu klāja – pavisam 180 vietās dažādas struktūras mežaudzēs. Visu iepriekšminēto mērījumu dati izmantoti dažādos aprēķinos arī promocijas darba ietvaros.

No 1997. gada pavasara uzsāktas biogēno elementu ķīmiskās analīzes grunts-, pazemes-, nokrišņu un grāvju noteces ūdeņim divas reizes mēnesī, kas turpinātas līdz 2001. gada rudenim. Iegūtie rezultāti salīdzināti ar laika posmā no 1966. līdz 1974. gadam K. Buša un I. Spalviņas, tūlīt pēc stacionāra teritorijas meliorācijas, veiktajiem pētījumiem Vesetniekos, kā arī no 1996. gada jūlija līdz 1997. gada jūnijam ņemto ūdens paraugu analīžu datiem Lielupes ūdens sateces baseina upēs - Viesītē un Sunītē un tajās ieplūstošajos strautos, kas drenē sausieņu mežus.

Vesetnieku ekoloģiskā stacionāra nosusinātajos mežos ekosistēmā ienākošā nokrišņu ūdens kvalitāte un kvantitāte raksturota izmantojot 25 nokrišņu uztvērējos savāktos ūdeni. 5 nokrišņu uztvērēji izvietoti klajumā – viens no tiem iekārtots stacionāra centrā, pārējie četri – pa stacionāra teritorijas perimetru

aptuveni 1.5 km atstatumā no centra. 20 nokrišņu uztvērēji izvietoti priežu, egļu un bērzu kokaudzēs, kā arī skuju koku jaunaudzē, ikvienā audzē pa 5 uztvērēji. Biogēno vielu izneses aprēķināšanai ūdens paraugi ņemti ikvienā no 5 hidrometriskajiem posteņiem, no kuriem trijos tiek mērīta ūdens notece pa grāvjiem no platībām ar dziļām kūdras augsnēm, bet divos posteņos – no platībām ar hidromorfām minerālaugsnēm. 18 augsnes gruntsūdens akās un 3 spiediena pazemes ūdeņu akās dziļumā līdz 25 m tika analizēti ūdens paraugi t.s. fona izmaiņu raksturošanai.

Katram ūdens paraugam noteikts $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$, $P-PO_4^{3-}$, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} daudzums un aktīvā reakcija pH. Noteikts arī augiem viegli pieejamo barības vielu daudzums kūdrā, kā arī izdarītas pilnanalīzes to kopējo krājumu novērtēšanai. Ķīmiskās analīzes izdarītas LVMI “Silava” Meža vides laboratorijā. Kopš darba uzsākšanas līdz 2001. gada septembrim veiktas 17 600 ūdens ķīmiskās analīzes.

3.2. Krastmalas baltalkšņu audzes ietekmes raksturošana

Pētījumā par baltalkšņu audzes ietekmi uz biogēno elementu iznesi, ūdens paraugi ņemti divās baltalkšņu audzēs divu dažādu upju – Viesītes un Sunītes ūdenī. Pētījuma veikšanai ūdens paraugi ņemti katrā upē straumes centrā, nedaudz zem ūdens virsmas līmeņa – 100 m, 50 m un 5 m augšpus un lejpus no baltalkšņu audzes, kā arī 3 vietās upē audzes teritorijā - 1/3, 1/2 un 2/3 no attāluma upei izplūstot cauri audzei, kā arī upē ieplūstošajos strautos - reizi mēnesī divos periodos: 1) no 1995. gada jūlija līdz novembrim; 2) no 1996. gada jūlija līdz 1997. gada jūnijam. Šāds ūdens paraugu ņemšanas vietu izvietojums izvēlēts, lai ar minimālu paraugu ņemšanas vietu skaitu (9 vietas katrā upē) raksturotu biogēno vielu daudzumu upes ūdenī augšpus baltalkšņu audzes, audzes teritorijā un lejpus tās. Kopumā izdarītas 2107 upju ūdens un 42 strautu ūdens ķīmiskās analīzes, kas galvenokārt veiktas LVMI “Silava” Meža vides laboratorijā.

3.3. Pelnu mēslojuma ietekmes noteikšana

Lai nodrošinātu eksperimentam nepieciešamo atkārtojumu skaitu un meža augšanas apstākļu dažādību, 2002. gada 19.-21.maijā ierīkoti 12 izmēģinājuma parauglaukumi trīs dažādās vietās jeb sērijās (A, B un C), katrā no tām – četri parauglaukumi. A sērijas parauglaukumi izvietoti nogabalā ar mētru kūdreņa (*Vacciniosa turf. mel.*) meža tipu, B sērijas parauglaukumi – šaurlapju kūdreņa (*Myrtillosa turf. mel.*), bet C sērijas parauglaukumi - šaurlapju kūdreņa ar pārpurvošanās tendenci un niedrājam (*Caricoso-phragmitosa*) raksturīgu veģētāciju meža tipos. Parauglaukumi katrā sērijā izvietoti transekta – rindas veidā ar aptuveni 30 m savstarpējo attālumu.

Katra aplūveida parauglaukuma centrā atrodas 2 m dziļa gruntsūdens novērošanas aka ūdens paraugu ievākšanai. Katras sērijas pirmajā parauglaukumā pelni izkaisīti 1 m plata rinķa gredzena veidā, kura iekšējā mala atrodas 1 m radiusā ap aku (mēsloātā platība 9.42 m²), otrajā parauglaukumā – 2 m radiusā ap aku (15.7 m²), bet trešajā parauglaukumā – 3 m radiusā (21.98 m²). Zinot augsnes

filtrācijas koeficientu un ūdens plūsmas virzienu, pelnu izkaisīšana atšķirīgos attālumos no akas dod iespēju aprēķināt ar pelniem ienesto barības vielu izskalošanās ātrumu un daudzumu kg ha^{-1} no meža ekosistēmas uz nosusināšanas grāvjiem. Katras sērijas ceturť parauglaukuma aka izmantota kontrolei – pelni ap to nav kaisīti.

Ierīkotajos parauglaukumos izkaisīti dabīgi mitri pelni ar devu 50 t ha^{-1} jeb 5 kg m^{-2} . Pelni ņemti galvenokārt no kokzāģēšanas rūpnīcas SIA “Vika Wood”, kas atrodas Kurzemē, apmēram 12 km no Talsiem. Pelni iegūti no skuju koku, pārsvarā egles, mizas. Uz eksperimenta vietu pelni transportēti plastmasas maisos.

Gruntsūdens paraugi no akām veģetācijas periodā ņemti divas reizes mēnesī, LVMI “Silava” Meža vides laboratorijā nosakot N-NH_4^+ , N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} , K^+ , Ca^{2+} un Mg^{2+} koncentrāciju, kā arī aktīvo reakciju pH. Trīsdesmit divos atkārtojumos veiktas 2506 ūdens ķīmiskās analīzes.

Zemesdes augu veģetācija pēc mēslošanas raksturota katru gadu augusta mēnesī ar punktu metodi, izmantojot 1 m garu metāla adatu (diametrs 1 mm). Katra parauglaukuma mēslotajā un nemēslotajā daļā izdarīti 200 adatas dūrieni, atzīmējot augus (sūnas, lakstaugi), kuru virszemes daļas pieskārs adatai. Katrai sugai parauglaukumā aprēķināts sastopamības koeficients un projektīvais segums. Izmantojot Ellenberga skalas, iegūti katra parauglaukuma mēsloto un nemēsloto daļu raksturojoši gaismas, temperatūras, kontinentalitātes, mitruma, reakcijas, slāpekļa un augsnes auglības rādītāji. Mēsloto parauglaukumu un to tuvākās (nemēslotās) apkārtnes veģetācijas salīdzināšanai lietots Čekanovska līdzības koeficients.

3.4. Kokaudzes taksācijas rādītāju novērtēšana

Kokaudzes parametru novērtēšanas mērķis bija novērtēt kokaudzes krāju dažādos attālumos no nosusināšanas grāvjiem atrodošos parauglaukumos un pārliecināties, vai nav notikusi tās pieauguma samazināšanās nosusināšanas grāvju tuvumā.

Promocijas darba ietvaros 1999. un 2006. gada jūlija mēnešos izdarīta stacionāra teritorijā esošo 30 priežu parauglaukumu pārmērīšana. Rezultāti salīdzināti ar iepriekšējās uzmērīšanas reizēm kopš 1963. gada. Parauglaukumos, kuru platība sastāda 0.06 – 0.125 ha veikta audzes dastošana, uzmērot visus kokus sadalījumā pa 2 cm caurmēra pakāpēm. Lai konstruētu augstuma līknes, veikti arī koku augstuma mērījumi katrai sugai sastopamajās caurmēra pakāpēs. Katrai koku sugai parauglaukumā aprēķināts audzes vidējā koka caurmērs un augstums, audzes šķerslaukums $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$, krāja $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ un koku skaits gab. ha^{-1} .

Priedes tekošā pieauguma dinamikas atspoguļojumam izraudzīti trīs - 0.125 ha (25 m x 50 m) lieli, 1976. gadā ierīkoti priežu audžu parauglaukumi, kuri izvietoti starp 2 nosusināšanas grāvjiem šaurlapju kūdreaņa meža tipā. Divi parauglaukumi izvietoti grāvju tuvumā, bet viens - vidū starp grāvjiem. Attālums starp grāvjiem ir 170 m. Priedes tekošais pieaugums nosusinātajā objektā salīdzināts ar nenosusinātu pārejas tipa purvu. Lai noteiktu priedes krājas tekošā

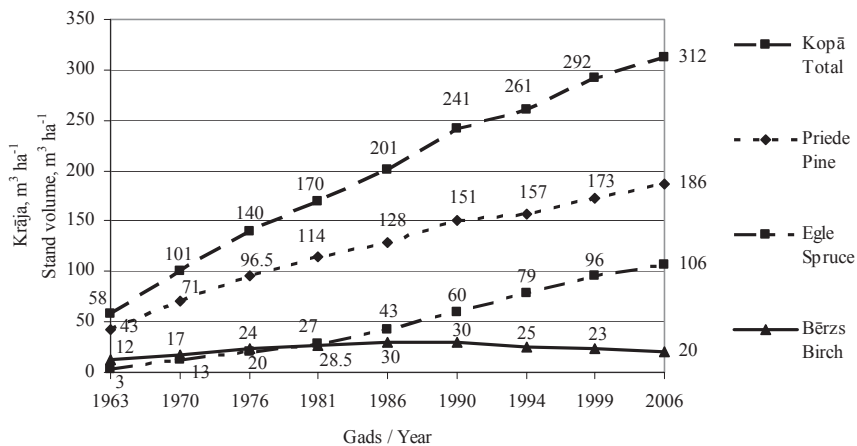
pieauguma dinamiku mežaudzēs ar atšķirīgu nosusināšanas pakāpi, trijos atšķirīgos objektos (nenosusinātā pārejas purvā, kokaudzē vidū starp grāvjiem un kokaudzē nosusināšanas grāvja malā) tika izraudzīti pa 10 valdaudzes koki, kuriem 1.3 m augstumā no sakņu kakla izdarīti urbumi, ievācot koksnes radiālos serdeņus. Katram no šiem 10 kokiem izmērīts pēdējo 30 gadu (no 1970. līdz 2000. gadam) gadskārtu platums. Pēc tam katrai gadskārtai aprēķināts šķērslaukums, kas raksturo dažāda caurmēra koku augšanas intensitāti. Gruntsūdens līmeņu salīdzināšanai izmantoti katra parauglaukuma tuvumā esošo gruntsūdens līmeņa novērošanas aku ūdens līmeņa mērījumi.

4. Rezultāti un diskusija

4.1. Kokaudzes taksācijas rādītāju izmaiņas pēc nosusināšanas

Līdz nosusināšanai stacionārā atradušās zemas bonitātes IV–V vecuma klašu bērzu–priežu audzes. Audzes sastāvs 8P2B+E, krāja $55 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, krājas tekošais pieaugums $1.8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā. 10 gadu laikā pēc nosusināšanas krāja divkārtšojusies un 1973. gadā sastādīja $112 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Audzes sastāvs 7P1E2B. Tekošais pieaugums $4.7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā. Kopš 1963. gada stacionāra teritorijā ir ierīkoti kokaudžu parauglaukumi, kuros, ik pēc 4-5 gadiem, tiek veikta krājas pārmērīšana. Pašlaik, 46 gadus pēc nosusināšanas, kokaudžu vidējā krāja ir $312 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (4.1. attēls). Kopumā vidēji 30 kokaudžu parauglaukumos 2006. gadā audzes sastāvs ir 6P3E1B, tekošā bonitāte - II^a, krāja - $312 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ un krājas uzkrāšanās temps – $2.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā, kas ir mazāks par šo rādītāju 1999. gadā, kad tas sastādīja $6.2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā. Laika posmā pēc meliorācijas pieaugusi priedes un egles krāja, bet vērojama bērza krājas samazināšanās. Audzes sastāvā pakāpeniski pieaudzis egles krājas īpatsvars, bet samazinājies bērza un priedes īpatsvars. Nenosusinātā platībā kokaudzes krāja pētītajā laika periodā pieaugusi ļoti maz un faktiski saglabājusies sākotnējā līmenī – ap $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Audzes taksācijas rādītāji 2006. gadā salīdzināti ar 1976. gada mērījumu rezultātiem. Šajā laikā koku sugu sastāva izmaiņas atšķirīgos attālumos no grāvja notikušas līdzīgi. Egles īpatsvars straujāk palielinājies grāvja malā. Bērza īpatsvars gan sākotnēji, gan arī pašlaik ir lielāks vidū starp grāvjiem.



4.1. att. Mežaudžu krājas izmaiņas laika gaitā pēc nosusināšanas (30 parauglaukumu vidējā krāja).

Fig. 4.1. The changes of stand volume in time after the forest drainage (average volume of 30 sample plots).

4.2. Priedes tekošā pieauguma dinamika

Augstākie pieaugumi konstatēti kokiem grāvja tuvumā, tad seko objekts vidū starp grāvjiem, un, visbeidzot, nenosusināts pārejas purvs. Pieauguma samazināšanās laika gaitā pēc meliorācijas visticamāk ir saistīta ar nosusināšanas grāvju pakāpenisku aizsērēšanu, lai gan pieauguma atšķirības starp objektiem saglabājušās arī pašlaik. Grāvja malā mēritajiem kokiem gadskārtu šķērslaukuma izkliede svārstījies no 15.56 cm² 1971. gadā līdz 7.45 cm² 1998. gadā; vidū starp grāvjiem no 10.06 cm² 1972. gadā līdz 5.86 cm² 1982. gadā. Priedēm nenosusinātajā pārejas purvā pieauguma dinamika kopumā ir gandrīz nemainīga. Trīsdesmit gadu laikā tas svārstījies robežās no 1.80 cm² līdz 3.55 cm². Apmēram kopš 1980. gada nosusinātajos objektos pieauguma kritums vairs nav vērojams. Tas var nozīmēt to, ka kokaudzei pieaugot, tā spēj kompensēt grāvju piesērēšanu un augsnes mitruma palielināšanos ar transpirācijas palīdzību.

Visai necīga ir pieauguma korelācija ar nokrišņu daudzumu, ko norāda tas, ka gadskārtu šķērslaukuma svārstības atsevišķiem kokiem nav sinhronas. Veikta pāru korelācijas analīze salīdzinot katru koku ar katru atsevišķi nenosusinātajā (45 pāri) un nosusinātajā (190 pāri) objektā. Korelācijas koeficientu sadalījums bija asimetrisks pozitīvo korelāciju virzienā, tomēr būtisko korelāciju īpatsvars bija samērā neliels (30 %). Tas liecina, ka priedes visai atšķirīgi reaģē uz vienu un to pašu meteoroloģisko faktoru ietekmi.

Lai saistītu gadskārtu pieaugumus ar citu nozīmīgu ekosistēmas ieejas elementu – minerālajām barības vielām, izmantoti 1997.-2000. gadu gadskārtu šķērslaukumi, jo šajā laikā stacionārā veiktas arī biogēno elementu ķīmiskās

analīzes. Tā kā netika konstatētas būtiskas atšķirības starp atsevišķu gadu pieaugumiem nevienā no 3 objektiem (dispersijas analīze, $p=0.49-0.87$), tad nebija nozīmes vērtēt ekoloģisko faktoru ietekmi dinamikā (laikā). Pie tam, bija samērā maz (30 %) būtisku korelāciju starp atsevišķu koku gadskārtu šķērslaukumiem vienā objektā. Tomēr būtiskas bija atšķirības koku gadskārtu pieaugumu vidējām vērtībām starp pētītajiem objektiem (dispersijas analīze, $p<0.05$). Tas nozīmē, ka ekoloģisko faktoru ietekme vērtējama, aplūkojot pētītos objektus statistiski, salīdzinot ietekmes faktoru vidējās vērtības ar vidējiem pieaugumiem. Bez jau pieminētajiem minerālajiem barības elementiem, vērtēts arī gruntsūdens līmenis veģetācijas periodā.

Vislielākais gadskārtu šķērslaukums ir kokiem grāvja malā (8.92 cm^2), bet vismazākais – nenosusinātajā pārejas purvā (2.64 cm^2). To lielā mērā izskaidro atšķirīgais gruntsūdens režīms. Ar organiskām vielām bagātās augsnēs gruntsūdens tikpat kā nesatur skābekli, un koku saknes, kas atrodas ūdenī, noslāpst. Konstatēts, ka mežos ar nosusinātām kūdras augsnēs koku saknes sniedzas līdz 40 cm dziļumam. Palielinoties dienu skaitam, kad gruntsūdeņi atrodas tuvāk augsnes virsmai ($< 40 \text{ cm}$), mežaudzes produktivitāte samazinās (Залитис, 1983). Gruntsūdens līmenis pārejas purvā vienmēr bijis seklāk par 40 cm (vidēji 6 cm), bet nosusinātajā objektā 40 cm pārsniegšanas iespējamība bijusi 68% (vidējais līmenis 56-57 cm). Tomēr ar gruntsūdens līmeni nav izskaidrojamas būtiskās atšķirības starp koku gadskārtu pieaugumiem parauglaukumā vidū starp grāvjiem (6.75 cm^2) un grāvja malā (8.92 cm^2), jo šeit tas ir gandrīz vienāds. Pieauguma atšķirības visticamāk ir saistītas ar labāku augsnes aerāciju nosusināšanas grāvja tuvumā, ko nodrošina lielāks ūdens plūsmas ātrums grāvja virzienā.

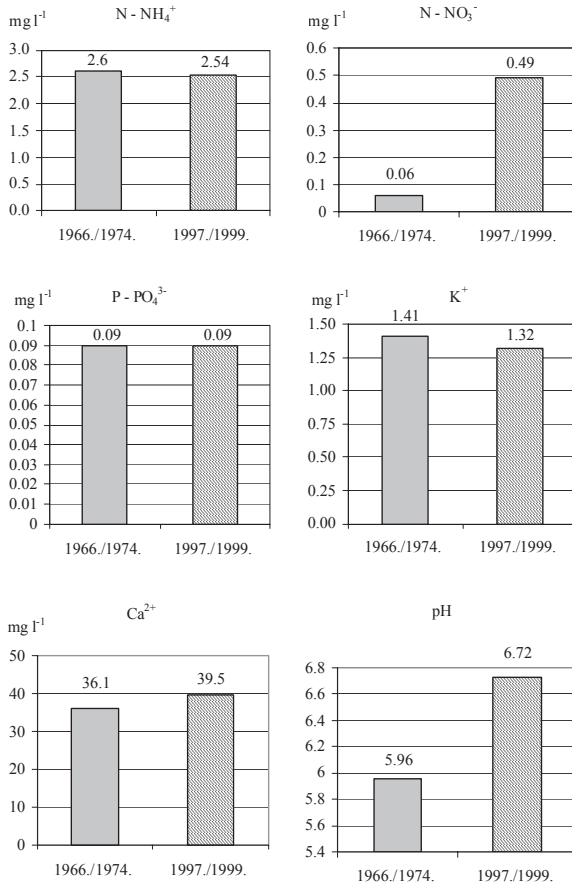
Lielāks augiem viegli pieejamā N-NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} un Mg^{2+} daudzums kūdrā noteikts objektā nosusinātos mežos, bet N-NO_3^- un P-PO_4^{3-} - nenosusinātajā pārejas purvā. Analīzes parādīja augstākas pH vērtības pārejas purva gruntsūdenī un augsnē salīdzinājumā ar objektu nosusinātos mežos. Zināms, ka augstražīgos mežos barības vielu plūsma ir straujāka, mazproduktīvos – lēnāka. Tā kā ar parastajām augšņu ķīmiskajām analīzēm vielu aprites ātrumu nevar noteikt, precīzus rezultātus aprēķināt pagaidām nav iespējams – augstražīgā mežā koki barības vielas izmanto tik strauji, ka augsnes analīzēs tās parādās niecīgā daudzumā. Rodas maldīgs iespaids, ka augsne ir nabadzīga, kaut gan augi ir labi apgādāti ar minerālvielām.

Dažādi mums pagaidām vēl nezināmi blakusfaktori ir cēlonis tam, ka, mainoties meteoroloģiskajiem faktoriem, vieniem kokiem gadskārtas kļūst platākas, bet citiem - šaurākas. Tāpēc koku gadskārtu platuma svārstības ir visai piesardzīgi izmantojamas iepriekšējo gadu meteoroloģisko apstākļu atšifrēšanai.

4.3. Biogēno elementu daudzums gruntsūdeņos

Konstatēts, ka pašlaik, 49 gadus pēc meliorācijas, neraugoties uz šajos gados notikušajām izmaiņām mežaudžu struktūrā, nav būtisku izmaiņu N-NH_4^+ , P-PO_4^{3-} , K^+ , Ca^{2+} un Mg^{2+} daudzumā augsnes gruntsūdeņos ūdens satences baseinos

uz nosusinātajām kūdras augsnēm. Analizējot ilggadīgos vidējos rādītājus konstatēts, ka, salīdzinājumā ar I. Spalviņas un K. Buša (1966.-1974. gados) īsi pēc meliorācijas veiktajiem pētījumiem, statistiski būtiski pieaudzis vienīgi N – NO₃⁻ saturs (no 0.1 līdz 0.5 mg l⁻¹), kā arī novērota pH līmeņa palielināšanās no pH 5.97 līdz pH 6.72 (4.2. attēls).



4.2. att. Analizēto elementu daudzuma un pH aritmētisko vidējo vērtību izmaiņas gruntsūdenī laikā pēc meliorācijas.

Fig. 4.2. The changes of arithmetic mean values of amount of elements analysed and pH in groundwater after the drainage.

Analizējot vielu daudzumu gruntsūdeņos, atklājās, ka kūdras un minerālaugšņu ūdens satences baseini būtiski atšķiras pēc kālija daudzuma ($K^+ F_{\text{fakt.}} = 6.86 > F_{\text{krit.}} = 3.81$). Vairāk kālija satur nosusināto minerālaugšņu gruntsūdeņi.

Arī K^+ jonu daudzums grāvju noteces ūdeņos minerālaugšņu ūdens sateces baseinos ir lielāks. Tāpat tuvu būtiskām ir arī Ca^{2+} un Mg^{2+} atšķirības starp nosusināto kūdras un minerālaugšņu ūdens sateces baseinu gruntsūdeņiem. Šo jonu daudzums ir lielāks nosusināto kūdras augšņu gruntsūdeņos.

Gruntsūdens aktīvās reakcijas pH atšķirības būtiskums ($pH F_{\text{fakt.}} = 13.0 > F_{\text{krit.}} = 3.81$) starp āreņiem un kūdreņiem ir loģisks: kūdras augsnēs ūdens ir skābāks, bet minerālaugsnēs bāziskāks.

4.4. Biogēno elementu iznese no sateces baseiniem ar kūdras augsnēm, hidromorfajām minerālaugsnēm un sausieņu mežiem

Saistībā ar Ca un Mg joniem bagāto pazemes ūdeņu izķīlēšanos, īpaša uzmanība vairākos aspektos tika pievērsta tieši šiem joniem. Pētījumā atklājies, ka 20 m dziļajās pazemes ūdens akās sateces baseinos uz nosusinātām kūdras augsnēm ir lielāks Ca^{2+} un Mg^{2+} jonu daudzums, salīdzinājumā ar tādām pašām akām uz hidromorfajām minerālaugsnēm ($Ca^{2+} F_{\text{fakt.}} = 63.68 > F_{\text{krit.}} = 3.95$). Savukārt, pretēji gaidītajam, nav konstatēts palielināts Ca^{2+} un Mg^{2+} jonu daudzums grāvju notecē no nosusinātajām kūdras augsnēm. Ca^{2+} daudzums grāvju notecē no hidromorfajām minerālaugsnēm 1997.-1999. gadu periodā bija pat nedaudz augstāks nekā no kūdras augšņu ūdens sateces baseiniem, sastādot attiecīgi 52.7 mg l⁻¹ un 51.6 mg l⁻¹. Tomēr šī atšķirība nav statistiski būtiska. Vienlaikus, Ca^{2+} jonu iznese no nosusinātajām kūdras augsnēm bija 178.9 kg ha⁻¹ gadā, bet no hidromorfajām minerālaugsnēm tā sastādīja 119.6 kg ha⁻¹ gadā, kas izskaidrojams ar izsīkstošu ūdens noteci minerālaugšņu ūdens sateces baseinos vasaras sausuma periodos. Ca^{2+} izneses atšķirības starp kūdras un minerālaugšņu ūdens sateces baseiniem ir būtiskas ($Ca^{2+} F_{\text{fakt.}} = 6.42 > F_{\text{krit.}} = 3.81$). Būtiska ir arī ar grāvju noteci iznesto Mg^{2+} un $N-NO_3^-$ apjomu atšķirība starp abu augšņu baseiniem.

Salīdzinot pētījumu objektos ievāktu ūdens paraugu ķīmisko analīžu rezultātus, izrādījās, ka lielāks biogēno vielu – $N-NO_3^-$, $P-PO_4^{3-}$ un K^+ daudzums ūdenstecēs ir objektos baltalkšņu audzēs sausieņu mežos. Savukārt lielāks $N-NH_4^+$, Ca^{2+} un Mg^{2+} daudzums ir no nosusinātajiem mežiem notekošajā ūdenī.

$N-NH_4^+$ iznese, kas sastādīja 7.1 kg ha⁻¹ gadā, ir liela salīdzinājumā ar amonija slāpekļa noteci upē sausieņu mežu objektā, kur tā sastādīja tikai 0.6 kg ha⁻¹ gadā. Palielināta vielu notece no nosusinātajām platībām veidojas pateicoties vasarā neizsīkstošajai ūdens plūsmai pa grāvjiem platībās ar dziļām kūdras augsnēm, kamēr sausieņu mežos strauti ir izsīkuši. Tā kā nosakot vielu bilanci nosusinātajos mežos konstatēts, ka $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$, $P-PO_4^{3-}$ un K^+ ienese meža ekosistēmā ar atmosfēras nokrišņiem pārsniedz šo vielu iznesi pa nosusināšanas grāvjiem kā mežos uz dziļas kūdras, tā arī mežos ar hidromorfajām minerālaugsnēm, tad nav pamata apgalvot, ka šīs vielas tiktu pastiprināti izskalotas. Savukārt Ca^{2+} un Mg^{2+} jonu iznese ar grāvju noteci vairākkārt pārsniedz šo vielu ienesi ar nokrišņu ūdeni.

Iepriekšminēto paaugstināto bāzisko katjonu daudzumu nosusināto mežu grāvju noteces ūdeņos un upē apstiprina arī bāziskākā ūdens aktīvā reakcija,

attiecīgi pH 7.4 un pH 8.0. Turpretī pētījumu objektā sausieņu mežos ūdeņi bijuši ar skābāku ūdens aktīvo reakciju, attiecīgi, strautos – pH 6.3 un upē – pH 7.0. Ūdens pH līmeņa atšķirības starp nosusināto un sausieņu mežu objektiem ar varbūtību 95% bija statistiski būtiskas (dispersijas analīze, $p < 0.05$).

4.5. Biogēno elementu izneses no meža zemēm modeļi

Biogēno elementu izneses aprēķināšanai ūdens paraugi ņemti ikvienā no 5 hidrometriskajiem posteņiem, no kuriem trijos tiek mērīta ūdens notece pa grāvjiem no platībām ar dziļām kūdras augsnēm, bet divos posteņos – no platībām ar hidromorfām minerālaugsnēm. Barības vielu noteces modeļu izstrādei izmantotas 1997.-2001. gadu periodā iegūtas vielu koncentrācijas un ilglaicīgo noteces novērojumu dati.

Galvenā nozīme barības vielu izneses veidošanā neapšaubāmi ir ūdens noteces apjomam, jo vielas var tikt iznestas tikai ar ūdens plūsmu. Veicot 1969.-2001. gadu perioda noteču datu apstrādi ar viena faktora dispersijas analīzi, izrādījās, ka gan diennakts, tā arī summārās hidroloģiskā gada noteces starp pieciem stacionāra ūdens sateces baseiniem atšķiras būtiski (viena faktora dispersijas analīze, $p < 0.05$). Sadalot kalendāro gadu četrās vienādās daļās – gadalaikos (pavasaris – aprīlis, maijs, jūnijs; vasara – jūlijs, augusts, septembris; rudens – oktobris, novembris, decembris; ziema – janvāris, februāris, marts), iegūstam četrus periodus ar būtiski (viena faktora dispersijas analīze, $p < 0.05$) atšķirīgu ūdeņainību. Vislielākā notece konstatēta pavasarī, bet vismazākā – vasarā. Būtiska nav atšķirība vienīgi starp rudens un ziemas noteci (viena faktora dispersijas analīze, $p = 1.000$).

Statistiski būtiskas atšķirības konstatētas arī starp atsevišķu gadu noteču summām, kā arī starp atsevišķu gadu vidējām diennakts notecēm (viena faktora dispersijas analīze, $p < 0.05$). Protams, šīs atšķirības nav būtiskas starp visiem gadiem.

Iepriekšminētās noteces atšķirības tika ņemtas vērā, izstrādājot barības vielu izneses modeļus. Lai ekstrapolētu vielu koncentrācijas grāvju notecē laikā starp ūdens paraugu ņemšanas dienām, tika mēģināts saistīt vielu koncentrāciju ūdenī ar noteces apjomu (mm diennaktī) paraugu ņemšanas dienā. Sakarība lineārās regresijas veidā aprēķināta katrai analizētajai vielai (N-NH_4^+ , N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} , K^+ , Ca^{2+} un Mg^{2+}) katram no pieciem ūdens sateces baseinam katrā no četriem gadalaikiem. Tikai septiņos gadījumos no 120 šī sakarība bija statistiski būtiska (4.1. tabula). Visos gadījumos, izņemot N-NH_4^+ 2. baseinā pavasarī, konstatēta būtiskā sakarība norādīja, ka, līdz ar noteces apjoma palielināšanos grāvī, vielas koncentrācija ūdenī samazinās. Iepriekšminētajā izņēmuma gadījumā, turpretī, palielinoties grāvju noteces apjomam, vērojama amonija jonu koncentrācijas palielināšanās noteces ūdenī. Visticamāk, tas saistās ar apstākļiem, kad spēcīga lietus laikā, paaugstinoties gruntsūdens līmenim un pieaugot noteces intensitātei, amonija joni pastiprināti tiek aizskaloti uz grāvjiem. Tomēr, kopumā, biogēno elementu daudzumam ūdenī ir svārstīgs raksturs, kas ļauj uzskatīt, ka ar lielāku ūdens apjomu aizplūst arī lielāks biogēno elementu apjoms.

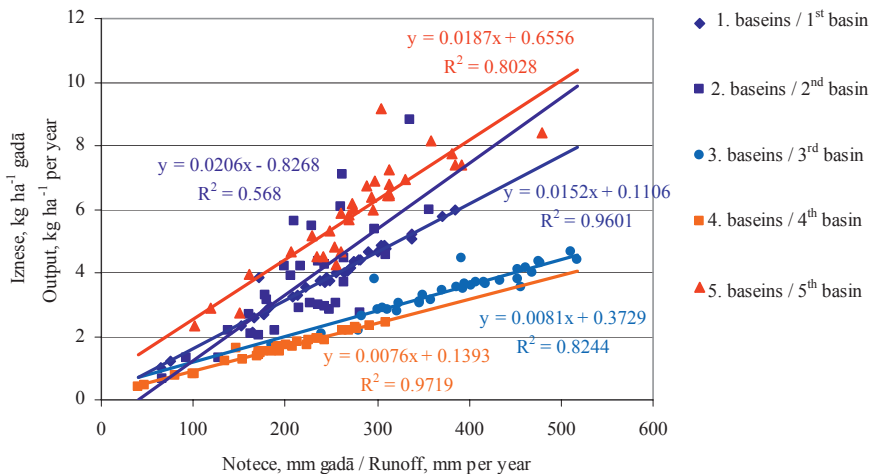
**Vidējās vielu koncentrācijas (mg l^{-1}) un to aprēķinām lietojamās funkcijas
piecos Vesetnieku ūdens sateces baseinos**
**The average concentrations of elements (mg l^{-1}) and the equations to be used
for the calculation in the water confluence basins of the Vesetnieki Station**

Viela / Substance	Gadalaiks / Season	1. baseins / 1 st basin	2. baseins / 2 nd basin	3. baseins / 3 rd basin	4. baseins / 4 th basin	5. baseins / 5 th basin
N-NH ₄ ⁺	Pavasaris / Spring	1.69	konc.=0.0183+ 2.645*notece	0.87	0.94	2.49
	Vasara / Summer	1.32	0.73	0.64	0.94	2.43
	Rudens / Autumn	1.48	0.77	1.23	konc.=1.227- 0.8365*notece	2.08
	Ziema / Winter	1.52	1.02	0.7	0.8	1.48
N-NO ₃ ⁻	Pavasaris / Spring	0.254	0.236	0.161	0.146	0.199
	Vasara / Summer	0.073	0.076	0.068	0.100	0.171
	Rudens / Autumn	0.478	0.208	0.017	0.034	0.041
	Ziema / Winter	0.163	0.098	0.098	0.036	0.103
P-PO ₄ ³⁻	Pavasaris / Spring	0.079	0.048	0.061	0.029	0.066
	Vasara / Summer	0.066	0.063	0.116	0.077	konc.=0.1433- 0.1027*notece
	Rudens / Autumn	0.011	0.003	0.008	0.016	0.090
	Ziema / Winter	0.041	0.036	0.031	0.019	0.091
K ⁺	Pavasaris / Spring	1.51	konc.= 1.3129- 0.5039*notece	konc.=1.9177- 0.5729*notece	1.73	2.20
	Vasara / Summer	1.48	1.24	1.08	1.58	konc.=2.3989- 1.3099* notece
	Rudens / Autumn	1.13	1.03	0.99	1.10	0.96
	Ziema / Winter	1.09	1.37	1.23	1.21	1.26
Ca ²⁺	Pavasaris / Spring	53.49	39.78	46.71	44.39	55.33
	Vasara / Summer	72.69	38.52	46.41	46.48	52.08
	Rudens / Autumn	50.89	36.34	45.49	konc=-57.676- 31.142* notece	53.54
	Ziema / Winter	54.51	38.79	43.33	45.37	55.01
Mg ²⁺	Pavasaris / Spring	17.75	15.92	13.44	15.04	13.04
	Vasara / Summer	20.64	14.56	12.24	16.10	16.07
	Rudens / Autumn	17.29	14.31	15.31	14.70	15.07
	Ziema / Winter	14.36	11.61	12.21	12.57	14.12

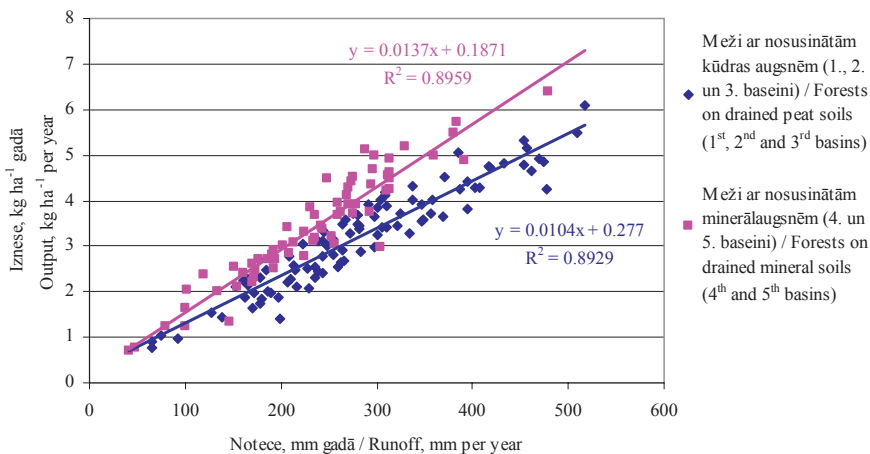
Vielu izneses aprēķinam ūdens paraugu ņemšanas dienām attiecīgās dienas koncentrācija reizināta ar šīs dienas noteces apjomu. Lai noteiktu vielas koncentrāciju dienām starp ūdens paraugu ņemšanas reizēm, tiem gadalaikiem, kur konstatēta statistiski būtiska sakarība starp vielas koncentrāciju un attiecīgās dienas noteci, tā aprēķināta pēc iegūtā vienādojuma. Gadalaikos, kur starp noteces apjomu un vielas koncentrāciju signifikanta sakarība netika konstatēta, vielu izneses aprēķinam lietota vidējā vielas koncentrācija, kas noteikta attiecīgā gada gadalaikā.

Tiem gadalaikiem, kad ūdens paraugi vispār nav ņemti, pieņemta 1997.-2001. gadu perioda attiecīgā gadalaika vidējā koncentrācija konkrētajā ūdens sateces baseinā. Ja kāda gada gadalaikā (piemēram, 2001. gada pavasarī, vai 2001. gada vasarā) bijis tikai viens vielas koncentrācijas mērījums, tad šim gadalaikam pieņemta 1997.-2001. gadu perioda vidējā vērtība konkrētajā ūdens sateces baseinā. Tādā veidā tika aprēķinātas vai pieņemtas vielu koncentrācijas grāvju noteces ūdenī katrai dienai katram ūdens sateces baseinam. Attiecīgās diennakts ūdens noteces apjomu sareizinot ar vielas koncentrāciju un izdalot ar ūdens sateces baseina platību, tika iegūta vielas iznese kilogramos no hektāra diennaktī.

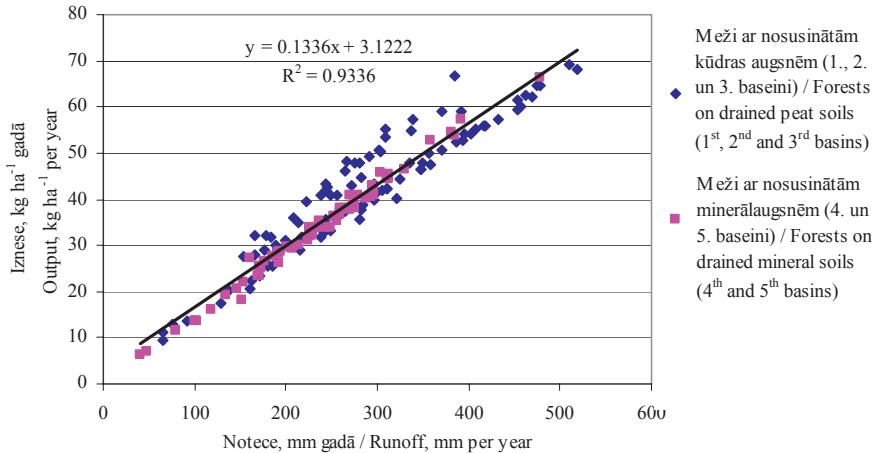
Pēc iepriekšminētās metodikas aprēķinātas gada iznešu vērtības no Vesetnieku stacionāra ūdens sateces baseiniem laika periodam no 1969. līdz 2001. gadam. Vislielākās barības vielu izneses konstatētas slapjajos, nokrišņiem bagātajos 1981., 1990. un 1998. gados, bet vismazākās – sausajos 1996., 1976., 2001. un 2000. gados. Izmantojot informāciju par gada noteces apjomu un barības vielu iznesi, katrai pētītajai vielai sastādīts barības vielu izneses modelis lineārās regresijas vienādojuma formā, kas izmantojams barības vielu izneses noteikšanai notecē no Latvijas pārmitrajiem mežiem, vienādojumā ievietojot noteces apjomu no interesējošās teritorijas. Modelī regresijas vienādojums $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$ un $P-PO_4^{3-}$ aprēķināts katram Vesetnieku stacionāra ūdens sateces baseinam atsevišķi, izmantojot baseinos iegūtās gada noteces un vielu izneses. 4.3. attēlā redzams $N-NH_4^+$ izneses modelis. Savukārt K^+ izneses no hidromorfo minerālaugšņu un kūdras augšņu baseiniem skaidri nodalās abās augšņu grupās, tādēļ kālijam veidoti divi regresijas vienādojumi (4.4. attēls). Ar atšķirīgas krāsas punktiem attēlotas izneses no baseiniem ar nosusinātām kūdras- un minerālaugsnēm. Kalcija un magnija izneses no visiem Vesetnieku baseiniem labi aprakstāmas ar vienu regresijas taisni un vienādojumu. 4.5. attēlā redzams Mg^{2+} izneses modelis.



4.3. att. N-NH₄⁺ izneses modelis. 1., 2. un 3. baseini – meži ar nosusinātām kūdras augsnēm; 4. un 5. baseini – meži ar nosusinātām minerālaugsnēm.
Fig. 4.3. N-NH₄⁺ runoff model. 1st, 2nd and 3rd basins – forests on drained peat soils. 4th and 5th basins.



4.4. att. K⁺ izneses modelis.
Fig. 4.4. K⁺ runoff model.



4.5. att. Mg²⁺ izneses modelis.
Fig. 4.5. Mg²⁺ runoff model.

4.6. Biogēno elementu pieplūde ar pazemes spiedes ūdeņiem

Pētījumi par pazemes ūdeņu atslodzes režīmu nosusinātos mežos Vesetnieku stacionārā uzsākti jau 1972.gadā, ierīkojot 33 dziļurbuma (5-31 m dziļas) novērošanas akas, 17 no kurām iesniedzas augšdevona dolomītos. Dolomīta horizonts stacionāra teritorijā raksturojas ar hidrokarbonātu magnija un kalcija tipa pazemes ūdeņiem. Tādēļ kalcija un magnija jonu koncentrācija kūdras augsnes gruntsūdenī uzskatāmi ilustrē pazemes ūdeņu atslodzes intensitāti. Veģetācijas periodā pazemes ūdeņu pieplūde meža ekosistēmā ar dziļas kūdras augsnēm svārstās robežās no 10 mm (ļoti sausās vasarās) līdz 102 mm (lietaiņās vasarās) (Залитис, 1983). Fizikālajā aspektā atslodzes intensitāte ir tieši proporcionāla spiediena pazemes ūdens horizonta pjezometriskā ūdens līmeņa h un augsnes gruntsūdens līmeņa H starpībai $\Delta h = h - H$, filtrācijas koeficientam k un apgriezti proporcionāla filtrācijas ceļa garumam l . Izplūdes intensitātes teritoriālās atšķirības purvauņos un kūdreņos nav precīzi izskaitļojamas viena meža nogabala ietvaros, jo nevar iegūt nepieciešamo informāciju ne par filtrācijas ceļa garumu, ko raksturo galvenokārt mālainā sprostsļāņa biezums, ne arī par filtrācijas koeficientu šajā slānī. Tāpēc minerālvielām bagāto pazemes ūdeņu izplūdes apjoma rādītāji ir samērā nosacīti, un tos raksturo tikai līmeņu starpība $\Delta h = h - H$.

Zem ūdeni necaurīdīgā morēnas sprostsļāņa esošā devona dolomīta plaisās akumulētā ūdens spiediens ir teritoriāli izlīdzināts un tā pjezometriskā virsma veido samērā līdzenu plakni. Varam pieņemt, ka starp divām samērā tuvu ierīkotām novērošanas akām h mainās lineāri. Tas paver iespēju spiediena pazemes ūdens horizonta pjezometriskā ūdens līmeņa aprēķināšanai izmantot meža hidroloģijas praksē reti pielietoto trijstūra plaknes vienādojumu:

$$ax_i + by_i + ch_i = 1, \quad (1)$$

kur x un y - dziļurbuma aku koordinātes plaknē,

h – pjezometrisko līmeņu augstums virs jūras līmeņa un $i = 1 \dots 3$.

Izmantojot aprēķinātās koeficientu a, b, c skaitliskās vērtības, var aprēķināt h , kā arī $h-H$ vērtības ikvienā plaknes punktā ar koordinātēm x un y , kur izmērīts augsnes gruntsūdens līmenis H .

Vesetnieku stacionāra teritorijā spiediena pazemes ūdens horizonta pjezometrisko ūdens līmeņu starpība kūdreņos un tiem pieguļošajos sausieņu pauguros sasniedz 12 m: $h_{\text{maks.}} = 102.01$ m un $h_{\text{min.}} = 89.53$ m. Aprēķinot h un izmērot H , Vesetnieku stacionāra kūdreņos iezīmējas samērā lielas Δh vidējo skaitlisko vērtību atšķirības: no -97 cm līdz $+265$ cm. Līdz ar to, tika izvirzīts mērķis noskaidrot, vai vietās ar atšķirīgām Δh vērtībām atšķirīgas ir arī augsnes gruntsūdeņos izšķīdušo kalcija un magnija jonu koncentrācijas, kas raksturīgas dolomītos lokalizētiem pazemes ūdeņiem.

Pārbaudei izvēlēti 7 mērpunkti, no tiem 3 mērpunktos iegūtie dati veido vienu neliela spiediena kopu, kur Δh vidējās vērtības atrodas robežās no -97 cm līdz $+27$ cm; otru pastiprināta spiediena kopu veido 4 mērpunktos iegūtie dati pie Δh vidējām vērtībām robežās no $+162$ cm līdz $+205$ cm.

Līdz divi metri dziļajās augsnes gruntsūdens līmeņa novērošanas akās pēdējo piecu gadu laikā jonu vidējā koncentrācija pazemes ūdeņu neliela spiediena zonā pie $\Delta h = -20$ cm bijusi: Ca -17.4 mg l⁻¹; Mg -6.1 mg l⁻¹; pastiprināta spiediena zonā pie $\Delta h = +213$ cm Ca -45.0 mg l⁻¹; Mg -15.0 mg l⁻¹.

Biogēno elementu papildus pieplūde ar pazemes spiedes ūdeņiem atspoguļojas arī meža ražībā: pastiprināta spiediena zonā augošo 8 priežu kokaudžu augstuma pieaugums pēdējo 25 gadu laikā atbilst pirmajai bonitātei; neliela spiediena zonā 7 audžu augstuma pieaugums – otrai bonitātei. Tas apstiprina iepriekš atzīmēto (Zālītis, 1996) likumsakarību, ka kūdreņu meža tipi un ar tiem saistītā meža ražība atspoguļo pazemes spiedes ūdeņu atslodzes intensitāti: šaurlapju kūdreņos (1. bonitāte) pazemes spiedes ūdeņi pieplūst aptuveni divreiz intensīvāk nekā par bonitāti nabadzīgākos mētru kūdreņos.

Tādējādi varam uzskatīt, ka biogēno elementu koncentrācija augsnes gruntsūdeņos mainās līdz ar spiediena pazemes ūdens horizonta pjezometriskā ūdens līmeņa un augsnes gruntsūdens līmeņa starpības Δh izmaiņām.

Mežā ar biezu kūdras slāni (biezums > 50 cm) kalcija un magnija jonu koncentrācija saistībā ar Δh izmaiņām laikā analizēta septiņos mērpunktos, ikvienā no tiem 5 gadu laikā ievācot un analizējot 48 gruntsūdens paraugus. Vienlaicīgi izmērīts arī augsnes gruntsūdens līmeņa augstums un pjezometriskie līmeņi dziļurbuma akās, pēc kuriem no plaknes vienādojuma aprēķināts spiediena pazemes ūdens horizonta pjezometriskā ūdens līmeņa augstums pie augsnes gruntsūdens novērošanas akām. Sakārtojot mērpunktus Δh vidējo aritmētisko rādītāju pieaugošā secībā un novērtējot divu blakus esošo rādītāju starpību ar Stjudenta kritēriju, varam secināt, ka visas starpības ir signifikantas ($t_{\text{fakt.}} > t_{0.05} = 1.96$). Tas apliecina, ka Δh teritoriālās atšķirības ir daudz lielākas nekā

Δh rādītāju izkļiede 5 gadu laikā vienā mērpunktā. Kūdreņos, kur Δh nosacīti neliels, tā vērtības piecu gadu laikā svārstījās robežās no -170 cm līdz +40 cm, mērvietās, kur Δh nosacīti liels – robežās no +130 cm līdz +280 cm.

Aprēķinot sakarību starp Ca un Mg jonu koncentrāciju augsnes gruntsūdenī un Δh 7 mērpunktos, strikti iezīmējas mērpunktu savdabības, ko nosaka: 1) samērā nelielās Δh vērtību svārstības ikvienā mērpunktā, un 2) niecīgā korelācija starp Δh un Ca, kā arī Mg jonu koncentrāciju vienā mērpunktā: $r=0.01 \dots 0.25$ pie $r_{0,05}=0.31$. Tas norāda, ka jonu koncentrācijas izmaiņas vienā vietā vērtējamas kā nejaušas.

Apvienojot vienā izlasē visus 293 mērījumus mežā ar biezu kūdras slāni ar Δh svārstībām robežās no -169 cm līdz +284 cm, iezīmējas signifikanta sakarība starp Δh un jonu koncentrāciju (4.6. attēls). Korelācijas koeficients starp Δh (cm) un Ca jonu koncentrāciju (mg l^{-1}) $r=+0.66$; starp Δh (cm) un Mg jonu koncentrāciju (mg l^{-1}) $r=+0.52$, pie $r_{0,05} = 0.11$. Sakarību starp Δh un jonu koncentrāciju raksturo regresijas vienādojumi:

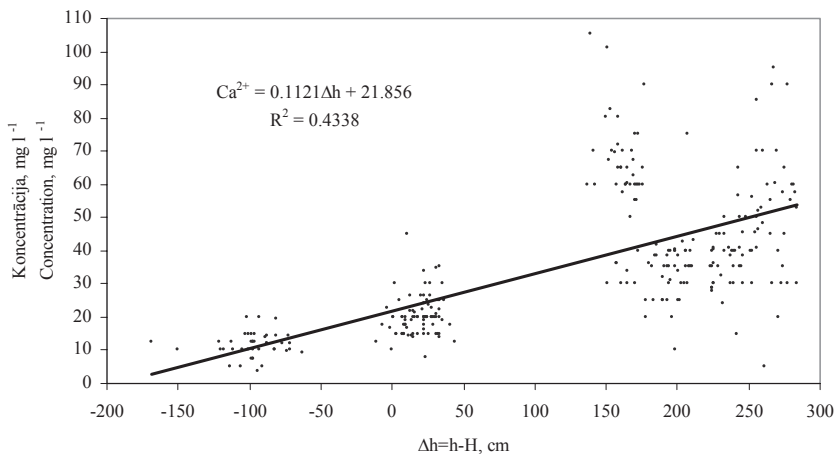
$$\text{Ca} = 0.1121 \Delta h + 21.9; \quad (2)$$

$$\text{Mg} = 0.0343 \Delta h + 7.5. \quad (3)$$

Citā izlasē apvienojot 242 mērījumu rezultātus par Ca un Mg jonu koncentrāciju āreņu (kūdras slāņa biezums nepārsniedz 20 cm) augsnes gruntsūdeņos, iegūti šādi vidējie rādītāji: Ca – 26.8 mg l^{-1} ar reprezentācijas kļūdu 2.1 mg l^{-1} un Mg – 9.8 mg l^{-1} ar reprezentācijas kļūdu 0.6 mg l^{-1} . Ievietojot šos skaitļus iepriekš aprakstītajos regresijas vienādojumos, iegūstam šādas Δh vērtības: attiecībā uz kalcija jonu koncentrāciju $\Delta h=44$ cm un attiecībā uz magnija jonu koncentrāciju $\Delta h=67$ cm. No šiem rezultātiem varam secināt: mežos ar biezu kūdras slāni spiediena pazemes ūdens horizonta pjezometriskā ūdens līmeņa un augsnes gruntsūdens līmeņa starpība $\Delta h \approx 0.5$ m spēj nodrošināt tādu pat kalcija un magnija jonu koncentrāciju augsnes gruntsūdeņos, kāda tā ir hidromorfās minerālaugsnes. Ja $\Delta h > 0.5$ m, tad kūdras augsnes ir labāk apgādātas ar kalciju un magniju nekā hidromorfās minerālaugsnes, kur Δh ir ar negatīvu zīmi un mežaudze barības vielas iegūst tieši no augsnes minerālajiem horizontiem.

Ar to arī izskaidrojami fakti, ka Vesetnieku stacionārā sausienēm pieguļošajos kūdreņos ar samērā plānu kūdras slāni (0.5-1.0 m), kur biogēnie elementi pieplūst no blakus esošām minerālgrūntīm, kokaudžu ražība nereti ir zemāka par kokaudžu ražību tālu prom no sausieņu nogāzēm vietās ar biezu kūdras slāni (2-5 m), kur minerālvielu pieplūdi nodrošina pazemes ūdeņu pastiprināta atslodze.

Tādējādi varam secināt, ka pārmitrajos un meliorētajos mežos ar biezu (0.3-4.5 m) kūdras slāni kokaudzes ražība nav atkarīga no kūdras slāņa biezuma; mežam nepieciešamās minerālās barības vielas pieplūst, atslodoties pazemes spiedes ūdeņiem.



4.6. att. Kalcija jonu koncentrācija augsnes gruntsūdenī kā $\Delta h = h-H$ funkcija mežos ar dziļu kūdras slāni.

Fig. 4.6. The concentration of calcium ions in the groundwater as a function of $\Delta h = h-H$ in forests with deep peat layer.

4.7. Biogēno elementu bilances āreņos un kūdreņos

Biogēno elementu bilance raksturota ar biogēno elementu ieneses un izneses starpību. Ienese notiek ar atmosfēras nokrišņiem, bet iznese - ar ūdens noteci pa grāvjiem. Analizēto vielu bilance sastādīta katram no pieciem Vesetnieku ekoloģiskā stacionāra ūdens sateces baseiniem.

Iegūtie rezultāti liecina, ka viena gada laikā slāpekļa, kālija un fosfora vielu ienese pārsniedz iznesi, turpretī kalcija un magnija iznese pa grāvjiem ir vairākkārt lielāka nekā to ienese meža ekosistēmā ar atmosfēras nokrišņiem kā mežos uz dziļas kūdras, tā arī mežos ar hidromorfām minerālaugsnēm. Vislielākā Ca^{2+} un Mg^{2+} iznese gada laikā konstatēta no 3. ūdens sateces baseina no nosusinātajām kūdras augsnēm, bet vismazākā no 4. ūdens sateces baseina no nosusinātajām minerālaugsnēm. Biogēno elementu bilances N-NH_4^+ un Ca^{2+} parādītas 4.7. un 4.8. attēlos.

Pastiprināta Ca^{2+} un Mg^{2+} iznese ar grāvju noteci apliecina Latvijas pārmitrajiem mežiem kopumā būtisku īpatnību – ūdens bilances pieplūdes daļā un pārpurvošanās procesā liela loma ir pazemes spiedes ūdeņu izplūdei no augšdevona dolomīta slāņa (Залитис, 1983; Zālītis, Indriksons, 2003). Ar Ca^{2+} un Mg^{2+} piesātinātie ūdeņi daļēji papildina augsnes gruntsūdeņus, daļēji izkļējas tieši nosusināšanas tīklā, ar ko izskaidrojama grāvju noteces bāziskā reakcija ($\text{pH} > 7.0$). Pētījuma rezultāti pagaidām neļauj apgalvot, ka lielākās izneses no nosusinātajām kūdras augsnēm liecinātu par barības elementu pastiprinātu izskalošanos un šo

augšņu noplicināšanos, jo arī citos pētījumos nenosusinātās platībās un sausieņu mežos noskaidrots, ka Ca^{2+} un Mg^{2+} izskalošanās (iznese) no ekosistēmas ir lielāka nekā ienese ar nokrišņiem (Matzner, 1988).

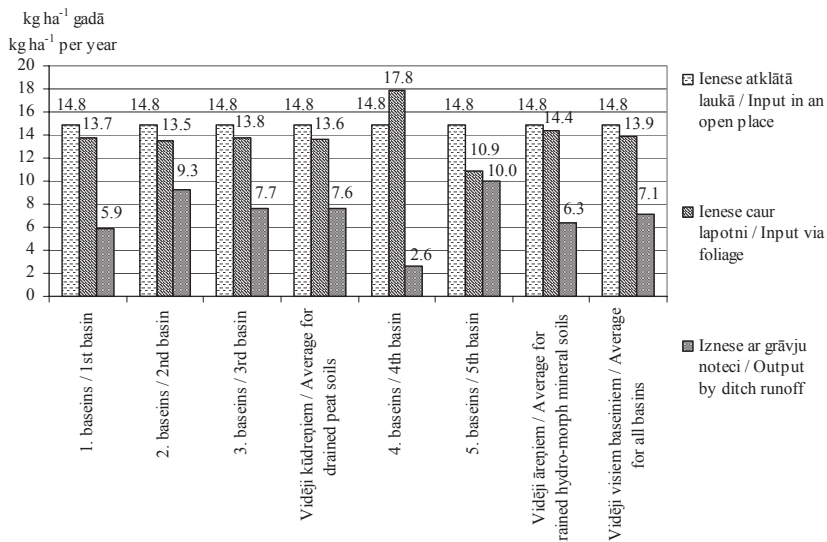
Ūdenim izplūstot caur vainagu klāju, tajā nedaudz samazinās N-NH_4^+ daudzums, vairāk samazinās N-NO_3^- un P-PO_4^{3-} daudzums, bet palielinās K^+ daudzums; Ca^{2+} un Mg^{2+} daudzums, kā arī pH rādītāji signifikanti neatšķiras: klajumā vidēji pH = 6.51, mežaudzē pH = 6.31. Salīdzinājumam – pa grāvjiem aizplūstošajā ūdenī no mežiem ar kūdras augsnēm pH = 7.32, no mežiem ar hidromorfajām minerālaugsnēm – pH = 7.44 un stacionāra teritorijas dziļākos grunts slāņus drenējošā upē Vesetā – pH = 8.03.

Palielināti amonija ieneses apjomi Vesetniekos daļēji izskaidrojami ar to, ka nokrišņu uztvērēji savāc ūdeni pie pašas zemes virsmas, ietverot arī zālaugu intercepciju un tās ietekmi uz ūdens ķīmiskā sastāva veidošanu.

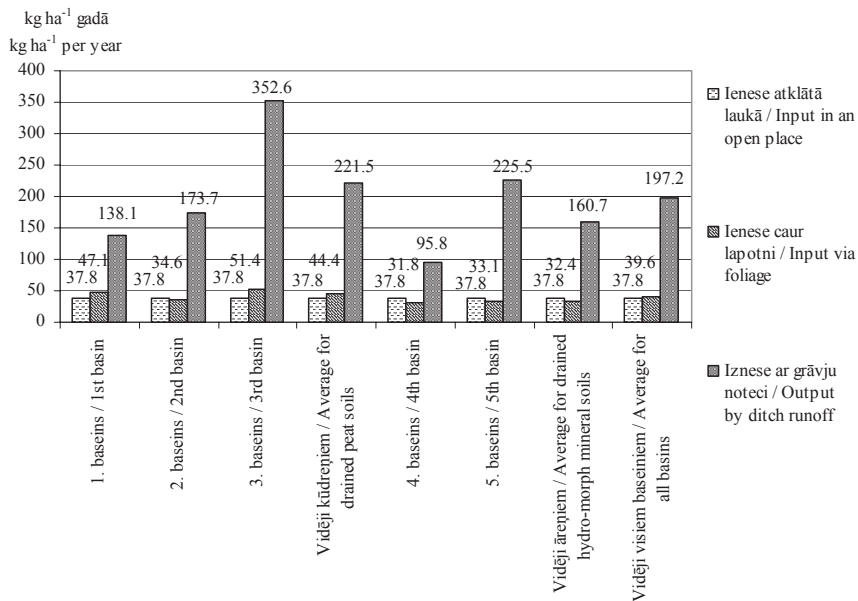
Izmantojot sakarības starp ienestās vielas koncentrāciju ūdenī un ienestā vai iznestā ūdens apjomu, kas Vesetnieku ekoloģiskajā stacionārā konstatētas laikā no 1997. līdz 2000. gadam, izdarīta retrospektīva datu ekstrapolēšana laikā līdz pat hidroloģisko novērojumu sākumam 60.-tajos gados.

Konstatēts, ka pēcmeliorācijas periodā 31 gada laikā ar klāja lauka nokrišņiem uz hektāra ienests 485 kg N-NH_4^+ , 30 kg N-NO_3^- , 46 kg un P-PO_4^{3-} , 390 kg K^+ , 1240 kg Ca^{2+} un 505 kg Mg^{2+} . Tajā pat laikā no kūdreņiem un āreņiem ar grāvju noteci iznests attiecīgi 194 kg un 110 kg N-NH_4^+ , 21 kg un 2 kg N-NO_3^- , 3 kg un 4 kg P-PO_4^{3-} , 133 kg un 72 kg K^+ , 6727 kg un 3214 kg Ca^{2+} , 2252 kg un 1085 kg Mg^{2+} . Datu analīze liecina, ka Ca^{2+} , Mg^{2+} un N-NO_3^- izneses 31 gada periodā no kūdreņiem ir būtiski lielākas nekā no āreņiem.

Pētījuma dati kopumā liecina, ka barības vielu bilance meža ekosistēmā viena vai dažu gadu laikā posmā vērtējama kā izlīdzināta, t.i. barības vielu iznese nepārsniedz to ienesi. Šāda ieneses un izneses attiecība ir visai svarīgs meža ekosistēmas saglabāšanās priekšnoteikums. Ilgākā laika posmā (vairākās desmitgadēs) ienese pārsniedz iznesi, un meža ekosistēmās pakāpeniski pieaug tur uzkrāto biogēno elementu apjoms, tādējādi palielinoties augu barības vielu daudzumam meliorētajos mežos.



4.7. att. N-NH₄⁺ gada bilance.
Fig. 4.7. The annual balance of N-NH₄⁺.



4.8. att. Ca²⁺ gada bilance.
Fig. 4.8. The annual balance of Ca²⁺.

4.8. Biogēno elementu iznese no baltalkšņu audzēm

Baltalksnis ir viena no tām sugām, kura ar uz saknēm esošo gumiņbaktēriju palīdzību spēj pastiprināti piesaistīt atmosfēras slāpekli, līdz ar to veicinot lielāku slāpekļa, iespējams arī citu barības elementu, akumulāciju lapu nobīrās un augsnē. Tas rosināja domāt, ka slāpekļa saturs varētu būt palielināts arī upē, kas plūst caur šādu baltalkšņu audzi.

Lai nodrošinātu iegūto rezultātu salīdzināšanas un pārbaudes iespēju, pētījums vienlaikus veikts baltalkšņu audzēs pie divām upēm – Viesītes un Sunītes.

Lai noteiktu paraugu ņemšanas vietas un laika ietekmes īpatsvaru vielu daudzuma rādītāju dispersijā, lietota 2 faktoru dispersijas analīze, analizējot datus sadalījumā pa gadalaikiem un paraugu ņemšanas vietām: 1) augšpus audzes, 2) baltalkšņu audzē, 3) lejpus audzes.

Viesītes upē parauga ievākšanas perioda jeb sezonas ietekmes īpatsvars analizētajām vielām svārstās no 5 – 59%. Sezonas ietekme ar varbūtību 95% bijusi būtiska visām vielām (dispersijas analīze, $p < 0.05$). Parauga ņemšanas vietas ietekmes īpatsvars ļoti neliels un svārstās no 0.4 – 7%. Sunītē sezonas ietekmes īpatsvars bija pat nedaudz lielāks nekā Viesītē un svārstījās no 17 – 59%. Sezonas ietekme uz visu analizēto vielu daudzumu bijusi būtiska (dispersijas analīze, $p < 0.05$). Toties parauga ņemšanas vietas ietekmes īpatsvars ir niecīgs un svārstās no 0.1 – 2%.

Vērtējot biogēno vielu daudzuma dinamiku laikā, gan Viesītes, gan Sunītes upē N-NO_3^- daudzums būtiski lielāks bijis vasaras – rudens ūdeņiem nabadzīgajā periodā, bet mazākais - ziemas periodā (dispersijas analīze, $p < 0.05$), kas acīmredzot skaidrojams ar nitrifikācijas intensitātes samazināšanos. Tas pats novērots arī ar P-PO_4^{3-} . Turpretī N-NH_4^+ daudzums vislielākais bijis ziemā (Viesītē) un pavasara – vasaras ūdeņiem bagātajā periodā (Sunītē), bet zemākais - vasaras – rudens ūdeņiem nabadzīgajā periodā (dispersijas analīze, $p < 0.05$). K^+ , Ca^{2+} un Mg^{2+} jonu daudzums Sunītes upē un Mg^{2+} jonu - Viesītē vislielākais bijis vasaras – rudens periodā, bet vislielākais K^+ un Ca^{2+} jonu daudzums Viesītes upē novērots ziemas periodā. Savukārt vismazākais iepriekšminēto jonu daudzums abās upēs konstatēts pavasara – vasaras ūdeņiem bagātajā periodā (dispersijas analīze, $p < 0.05$).

Lai arī ne slāpekļa, ne fosfora daudzumam ūdenī un šo vielu notecēm paraugu ņemšanas vietās nebija statistiski būtisku atšķirību (dispersijas analīze, $p = 0.08-0.8$ Sunītē un dispersijas analīze, $p = 0.26-0.97$ Viesītē), tomēr vidēji gadā upes ūdenī lejpus audzes Viesītē palielinājies N-NH_4^+ (no 0.41 līdz 0.49 mg l^{-1}) un P-PO_4^{3-} (no 0.07 līdz 0.08 mg l^{-1}) daudzums. Sunītes upē N-NH_4^+ daudzums baltalkšņu audzes teritorijā palielinājies (no 0.97 līdz 0.99 mg l^{-1}), bet lejpus audzes - atkal samazinājies (0.96 mg l^{-1}). Baltalkšņu audzes teritorijā un lejpus tās N-NH_4^+ un N-NO_3^- daudzuma palielināšanās visuzskatāmāk izpaudās vasaras mēnešos - jūnijā, jūlijā un augustā, kā arī ziemas periodā.

Lai arī N-NH_4^+ daudzums Viesītes un Sunītes upes ūdenī pētījuma vietās pārsniedz virszemes ūdeņu kvalitātes prasībās noteikto vērtību (0.39 mg l^{-1})

(“Virszemes ūdeņu kvalitātes prasības”, 1997), tomēr pētījuma rezultātā nav konstatēta statistiski būtiska biogēno vielu daudzuma palielināšanās upē baltalkšņu audzes teritorijā un lejpus tās. Literatūrā secināts, ka alkšņu audžu augšņu kopējā slāpekļi ievērojami lielāks ir organiskajās vielās saistītā slāpekļa īpatsvars (Hendrickson, Chatarpaul, 1984). Pētījumi lapu koku mežos ASV un Vācijā apliecina, ka vairāk nekā 90 % slāpekļa, ko satur ekosistēma, koncentrējas meža nobirās un augos, kur tas bioloģiski saistīts, un tikai 2% - neorganiskā formā augsnē (parasti NH_4^+ veidā) (Melillo, 1979).

Salīdzinot ar V. Jansona (1996), Integrālā monitoringa (Lūļko, Frolova u.c., 1997) un arī Vesetnieku ekoloģiskajā stacionārā iegūtajām biogēno elementu iznešu vērtībām, varam secināt, ka biogēno vielu notece cauri baltalkšņu audzei plūstošā upē nesasniedz apmērus, kas raksturīgi intensīvi apsaimniekotām lauksaimniecības teritorijām un nav liela salīdzinājumā ar notecēm citu koku sugu mežaudzēs (4.2. tabula).

4.2. tabula / Table 4.2.

Biogēno elementu iznese Viesītes un Sunītes upē, kg ha^{-1} gadā
Output of biogenous elements in Viesīte and Sunīte Rivers, kg ha^{-1} per year

Viela Sub- stance	Viesīte				Sunīte			
	Augš- pus audzes / Up- stream from the stand n = 20	Balt- alkšņu audzes posmā / In the grey alder stand n = 21	Lej- pus audzes / Down- stream from the stand n = 21	Vidēji / Mean n = 62	Augš- pus audzes / Up- stream from the stand n = 13	Balt- alkšņu audzes posmā / In the grey alder stand n = 14	Lej- pus audzes / Down- stream from the stand n = 14	Vidēji / Mean n = 41
N-NH_4^+	0.68	0.69	0.75	0.71	0.38	0.51	0.46	0.45
N-NO_3^-	0.20	0.19	0.12	0.17	0.08	0.05	0.04	0.06
N-sum.	0.88	0.88	0.87	0.88	0.46	0.56	0.50	0.51
P-PO_4^{3-}	0.14	0.10	0.10	0.11	0.02	0.03	0.03	0.03
K^+	3.98	3.79	3.64	3.80	0.31	0.42	0.5	0.41
Ca^{2+}	82.91	80.98	76.08	79.94	9.67	11.42	11.08	10.75
Mg^{2+}	43.65	40.99	40.97	41.84	2.46	3.55	3.86	3.31

n - mērījumu skaits katrai vielai / number of measurements of each substance

4.9. Koksnes pelnu mēslojuma ietekme uz biogēno elementu daudzumu

Jau izsenis koksnes pelni izmantoti kā dabisks kaļķošanas materiāls, kas samazina augsnes skābumu un uzlabo barības vielu pieejamību augiem. Viena no pelnu praktiskas izmantošanas iespējām ir to atgriešana atpakaļ mežā. Tomēr vēl joprojām maz pētīta ir pelnu mēslojuma ietekme uz vidi: zemsedzi, augsnes barības vielu sastāvu, mikorizu, gruntsūdens kvalitāti.

Eksperimenta ietvaros ievāktās augsnes gruntsūdens ķīmiskās analīzes norādīja, ka līdz šim nozīmīga pelnu elementu daudzuma un pH vērtības palielināšanās gruntsūdenī nav konstatēta. Analizēto elementu vidējās vērtības un citi statistiskie rādītāji doti 4.3. tabulā.

Tomēr, summējot visu mēslo to kontroles parauglaukumu gruntsūdens analīžu vērtības, kopumā statistiski būtiski vairāk slāpekļa vielu (N-NH_4^+ un N-NO_3^-) (varbūtība 95%) un arī kālija (varbūtība 90%) konstatēts mēslo to parauglaukumu gruntsūdenī. K^+ daudzums mēslo to parauglaukumu gruntsūdenī pārsvarā gadījumu bija lielāks salīdzinājumā ar gruntsūdeni kontroles akās. Negaidīta bija kalcija un magnija jonu daudzuma nepalielināšanās mēslo to parauglaukumu gruntsūdeņos pēc lielās Ca^{2+} un Mg^{2+} ar pelniem ienestās devas, attiecīgi, 282 g m^{-2} un 382 g m^{-2} , jeb 2.8 t ha^{-1} un 3.8 t ha^{-1} . Visticamāk, minētie elementi vēl joprojām nav izskalojušies no ar pelniem nokaisītā slāņa un atrodas augsnes virskārtā.

Konstatētas statistiski būtiskas K^+ daudzuma atšķirības gruntsūdens akās ar dažādu pelnu joslas attālumu ($p=0.01$). Lielāks K^+ daudzums konstatēts akās ar pelnu mēslojumu 1m attālumā no tām. Arī pārējo elementu daudzums bija augstāks akās ar mazāko pelnu mēslojuma attālumu.

Pieņemot, ka pelnu sastāvā ietilpstošie biogēnie elementi laika gaitā ar nokrišņiem ieskalojas augsnē, mēslo tajos parauglaukumos veiktas arī augsnes analīzes. Kūdras augsnes paraugi 0-15 cm dziļumā ņemti pirms eksperimenta uzsākšanas (2002. gada maijā) un otrajā gadā pēc mēslošanas (2003. gada novembrī). 2003. gada paraugu ņemšanas reizē, paraugi ievākti no parauglaukuma mēslo tās daļas (ar pelniem nokaisītā rinča gredzena) un turpat, dažu metru attālumā, no nemēslo tas platības.

Fosfora un kālija augiem brīvi pieejamajās jeb aktīvās formas gandrīz visos parauglaukumos lielākā daudzumā bija sastopamas to mēslo tajā daļā. Samērā labi ienestā mēslojuma efekts izpaužas arī N-NH_4^+ daudzuma analīzē. Pelnu saturā slāpekļa praktiski nav, tomēr tā daudzumu augsnē var ietekmēt ar citām barības vielām sekmētā mikrobioloģiskā aktivitāte. Pelnu mēslojuma efekts izpaužas arī nelielā (no pH 5.4 līdz 5.7), bet ar 90% varbūtību statistiski būtiskā pH vērtības pieaugumā ($p<0.1$).

4.3. tabula / Table 4.3.

**Biogēno elementu daudzuma (mg l^{-1}) un pH statistiskie rādītāji augsnes
gruntsūdenī ar pelniem mēslotajos un kontroles parauglaukumos**
**The statistical data of the amount of biogenous elements (mg l^{-1}) and pH in soil
groundwater in the sample plots with and without the ash application**

Viela / Sub- stance	Parauglaukumi / Sample plots	Aritm. vid. / Mean	Aritm. vidējā repr. rādītājs / Standard error of mean	Paraug- kopas apj. / Number of cases	Min / Min	Maks / Max	Atšķi- rību būtis- kums P / Signifi- cance p
N- NH ₄ ⁺	Kontrole / Control	2.85	0.19	93	0.00	10.02	0.000
	Mēslosts / Fertilized	3.97	0.16	279	0.00	20.59	
N- NO ₃ ⁻	Kontrole / Control	0.16	0.02	51	0.00	0.45	0.023
	Mēslosts / Fertilized	0.22	0.02	153	0.00	0.90	
p- PO ₄ ³⁻	Kontrole / Control	0.19	0.03	92	0.00	1.83	0.457
	Mēslosts / Fertilized	0.23	0.02	279	0.00	5.44	
K ⁺	Kontrole / Control	0.99	0.08	93	0.00	6.4	0.074
	Mēslosts / Fertilized	1.22	0.07	279	0.00	9.85	
Ca ²⁺	Kontrole / Control	43.86	1.31	93	16.0 2	76.17	0.097
	Mēslosts / Fertilized	40.99	0.90	279	8.02	78.18	
Mg ²⁺	Kontrole / Control	14.60	0.64	92	4.86	35.26	0.015
	Mēslosts / Fertilized	12.85	0.35	279	2.41	34.04	
pH	Kontrole / Control	6.37	0.04	93	4.90	7.94	0.117
	Mēslosts / Fertilized	6.28	0.03	279	3.03	7.37	

Atšķirības starp grupām ir būtiskas ar varbūtību 95%, ja $p < 0.05$. / Differences between groups are significant with probability 95%, if $p < 0.05$.

Atšķirības starp grupām ir būtiskas ar varbūtību 90%, ja $p < 0.1$. / Differences between groups are significant with probability 90%, if $p < 0.1$.

Samērā pārsteidzoša bija lielās Ca²⁺ un Mg²⁺ ar pelniem ienestās devas neatspoguļošanās šo elementu daudzuma palielinājumā kūdrā otrajā gadā pēc mēslošanas. Iespējams, ka kalcija un magnija izskalošanās no pelniem un oglēm norit lēnāk un tie vēl joprojām uzkrāti zemsegā virs augsnes. Kā liecina skandināvu zinātnieku pieredze, tad barības elementu izskalošanās pirmajos 3-6 gados pēc pelnu mēslojuma izkaisīšanas ir nenozīmīga. Tādēļ arī to daudzums augsnē un gruntsūdenī pagaidām nav būtiski palielinājies.

Zemsedzes augu veģetācijas analīzei izmantojot Ellenberga rādītārvērtības, konstatēts reakcijas, slāpekļa un substrāta bagātības vērtības (R+N) pieaugums parauglaukumu mēslotajās daļās. Nākamajos gados pēc mēslošanas atšķirība starp pelniem nokaisītajām joslām un tām pieguļošo apkārtni palielinājusies. Kā kritēriju izmantojot zemsedzes augu sugu projektīvo segumu, starp katra parauglaukuma mēslo to un nemēslo to daļu aprēķināts Čekanovska līdzības koeficients. Koeficienta absolūtās vērtības lielākajai daļai parauglaukumu 2003. gadā, salīdzinājumā ar 2002. gadu ir samazinājušās, kas norāda uz atšķirības pieaugumu starp parauglaukumu mēslo to daļu un tās apkārtni.

Novērotas arī vairākas nozīmīgas izmaiņas ar pelniem mēslo to parauglaukumu sugu sastāvā. Pēc pelnu izkaisīšanas 2002. gadā stipri samazinājās sūnu segums. 2003. gadā parādījās degumu vietām raksturīgā sūna *Funaria hygrometrica* Hedw. un nitrofilā *Stellaria media* (L.) Vill. 2004. gadā parauglaukumos parādījās barības vielas mīlošā *Marchantia polymorpha* L. emend. Burgeff. 2005. gadā iepriekšējais sūnu segums jau bija lielā mērā atjaunojies. No nitrofilām sugām šajā gadā parādījās *Tussilago farfara* L. un *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.

Lielā mēslojuma deva – 50 t ha⁻¹ pagaidām nav izraisījusi nozīmīgas vides parametru izmaiņas parauglaukumos. Atsevišķu elementu vidējo vērtību, galvenokārt slāpekļa vielu un kālija, statistiski būtiskā palielināšanās gruntsūdeņos un augsnē pagaidām tomēr neliecina par piesārņojuma draudiem, tādējādi apstiprinot ieneses-izneses mērījumos iegūtās atziņas par meža ekosistēmu augsto biogēno elementu uzkrāšanas kapacitāti. Elementu koncentrācijas visā novērojumu periodā atrodās zem ūdens kvalitātes normās norādītajām vērtībām.

5. Secinājumi un priekšlikumi

Secinājumi

1. Mūsu pētījumi eksperimentālajos parauglaukumos apstiprina līdzšinējās atziņas, ka meža hidrotehniskā meliorācija ir visefektīvākais meža ražības un produktivitātes paaugstināšanas paņēmieni Latvijā. Četrdesmit sešu gadu laikā pēc pārpurvoto mežu nosusināšanas mežaudžu krāja ir pieaugusi no 40 m³ ha⁻¹ līdz 312 m³ ha⁻¹. Koksnes tekošais pieaugums laikā pēc meliorācijas vienmēr bijis lielāks kokaudzes intensīvāk nosusinātajā daļā grāvja malā, kā rezultātā parauglaukumos grāvju malā krāja vēl joprojām ir lielāka salīdzinājumā ar parauglaukumiem vidū starp grāvjiem.
2. Gada laikā ar nokrišņiem augsnē nonākušo N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ un P-PO₄³⁻ daudzums ir lielāks klājumā, bet K⁺, Ca²⁺ un Mg²⁺ daudzums – ūdenī, kas izplūdis cauri koku vainagu klājam.
3. Lielāks augiem viegli pieejamā N-NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺ un Mg²⁺ daudzums kūdrā konstatēts intensīvi nosusinātos mežos, bet N-NO₃⁻ un P-PO₄³⁻ - nenosusinātā pārejas purvā.

4. Kūdreņu meža tipi un ar tiem saistītā meža ražība atspoguļo pazemes spiedes ūdeņu izķīlēšanās ietekmi. Ca^{2+} un Mg^{2+} jonu daudzums augsnes gruntsūdeņos ir augstāks platībās ar lielāku pjezometrisko līmeņu gradientu. Platības ar lielāku gradientu atbilst šaurlapju kūdreņa meža tipam, bet ar mazāku gradientu – mētru kūdreņa meža tipam.
5. Nosusināto mežaudžu gruntsūdeņos konstatēti ievērojami mazāks biogēno elementu saturs salīdzinājumā ar nenosusinātu pārejas purvu, kas norāda, ka koki tos intensīvāk izmanto pieauguma veidošanā. Turpretī kūdras augsnes pilnanalīzes uzrāda ievērojami lielākus N, P, Ca un Mg krājumus nosusināto mežu kūdrā salīdzinājumā ar kūdras virsējiem slāņiem nenosusinātā pārejas purvā, tādējādi apliecinot meža ekosistēmas paaugstinātās spējas uzkrāt biogēnos elementus.
6. Laika gaitā pēc meliorācijas augsnes gruntsūdeņos konstatēta N-NO_3^- daudzuma palielināšanās no 0.1 mg l^{-1} līdz 0.5 mg l^{-1} , kā arī pH izmaiņas no 5.9 līdz 6.7; pārējo elementu daudzuma izmaiņas nav statistiski būtiskas.
7. Vielu koncentrācija (mg l^{-1}) grāvju ūdenī vairumā gadījumu negatīvi korelē ar noteces intensitāti, jo pie lielāka ūdens apjoma tās atšķaidās. Tomēr N-NH_4^+ koncentrācija ūdenī pavasarī signifikanti pozitīvi korelē ($r = + 0.57$ pie $r^2_{0.05; 14} = 0.32$) ar noteces intensitāti. Tas, iespējams, izskaidrojams ar intensīvāku amonija slāpekļa izskalošanos no kūdras virsējiem horizontiem pie augstāka gruntsūdens līmeņa.
8. Biogēno elementu daudzums nosusināto mežu grāvju un sausieņu mežu strautu noplūstošajā ūdenī statistiski būtiski neatšķiras. Tomēr Ca^{2+} , Mg^{2+} jonu un, it sevišķi N-NH_4^+ , koncentrāciju absolūtās vērtības ir lielākas nosusināto mežu grāvjos kūdreņu meža tipos, kur vērojama arī bāziskāka ūdens aktīvā reakcija pH. Vielu iznešu atšķirības starp kūdreņiem un sausieņu mežiem izskaidrojamas ar neizsīkstošo ūdens plūsmu kūdreņos arī vasaras sausuma periodos. Turpretī N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} un K^+ daudzuma absolūtās vērtības ir lielākas objektā baltalkšņu audzē sausieņu mežos.
9. Pētījumu rezultātā nav konstatēta statistiski būtiska biogēno elementu daudzuma palielināšanās cauri slāpekļa piesaistītāju – baltalkšņu audzei plūstošā upē audzes teritorijā un lejpus tās. Tomēr pētītajās upēs un strautos konstatētais N-NH_4^+ daudzums pārsniedz virszemes ūdeņu kvalitātes prasībās noteikto normu. Nozīmīga ietekme uz vielu daudzumu upes ūdeņos ir paraugu ņemšanas sezonai. Slāpekļa vielu daudzuma palielināšanās upes ūdenī lejpus baltalkšņu audzes visvairāk izpaužas vasaras mēnešos – jūnijā, jūlijā un augustā, kā arī ziemas periodā.
10. Mūsu datu salīdzinājums ar citu autoru pētījumu rezultātiem liecina, ka slāpekļa notece no lauksaimniecības zemēm ir 3 reizes lielāka nekā no nosusinātajiem mežiem un 29 reizes lielāka nekā no sausieņu mežiem, bet fosfora notece 3 reizes lielāka nekā no nosusinātajiem mežiem un 14 reizes lielāka nekā no sausieņu mežiem.

11. N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, P-PO₄³⁻ un K⁺ ienese nosusināto mežu ekosistēmā ar atmosfēras nokrišņiem pārsniedz šo vielu iznesi pa nosusināšanas grāvjiem, kas norāda uz šo vielu akumulāciju meža ekosistēmā. Turpretī Ca²⁺ un Mg²⁺ jonu iznese ar grāvju noteci kūdreņos vairākkārt pārsniedz šo vielu ienesi ar nokrišņu ūdeni. Biogēno elementu aprīte nosusinātajos mežos hidroekoloģijas sakarā liecina, ka ekosistēma barības vielu krājumus racionāli izmanto koksnes pieauguma veidošanā.
12. Lielas koksnes pelnu mēslojuma devas – 50 t ha⁻¹ iestrāde pagaidām nav izraisījusi nozīmīgu biogēno elementu daudzuma palielināšanos un pH vērtības paaugstināšanos gruntsūdenī. Elementu koncentrācijas atrodas zem ūdens kvalitātes normās norādītajām vērtībām.

Priekšlikumi

1. Ievērojot sugu un biotopu aizsardzības prasības, kā arī katram meža tipam paredzētos nosusināšanas grāvju atstatumus, atbilstošos meža tipos Latvijā arī turpmāk veicama meža hidrotehniskā meliorācija kā meža ražību paaugstinošs mežsaimniecisks pasākums.
2. Valsts teritorijā jau esošajos un potenciālajos meža meliorācijas objektos veicama inventarizācija, daudzpusīgi izvērtējot jaunas nosusināšanas vai vecās nosusināšanas sistēmas atjaunošanas lietderību katrai konkrētajai teritorijai.
3. Praktiskajā mežsaimniecībā kā ekoloģiski nekaitīgs ir ieteicams koksnes pelnu mēslojums nosusinātos mežos ar kūdras augsnēm briestaudžu vecumā, kam daudzos pētījumos bijusi nozīme ievērojamā mazražīgu audžu ražības uzlabošanā.

1. General description

1.1. Background

Along with the material value of the forest, its ecological functions - carbon fixation and oxygen release, water regime regulation, etc. play an important role in the human and biosphere functioning. Among all the environmental factors, it is just the supply and circulation of nutrition elements of trees that could be easily influenced with the forest management. The influence can be either undesirable (losses or immobilisation of nutrients) or desirable (improvement of cycle and accessibility of nutrients). Though 95% of the dry mass of plants consists of carbon, hydrogen, oxygen and nitrogen, the successful growth and development of trees is mostly limited just by nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium.

One of the modern forestry principal criteria is the continuous and expanded renewal of forest resources, which in Latvian conditions is first of all related to the hydro-technical drainage of the waterlogged forest ecosystems. In Latvia, there are 1.5 million hectares of waterlogged forests, of which about 700 thousand hectares have been meliorated. Hydro-technical drainage is one of the most efficient forest management measures, as a result of which the average forest stand volume has increased from 100 m³ to 180 m³ per hectare for the previous 100 years (Zālītis, 1999).

Recent research results give us an opportunity to confirm with arguments that drainage has positive impact upon forest stand productivity, accumulation of CO₂, oxygen release as well as securing of biological diversity of forests at the level of ecosystems. But we have missed objective data of changes in the soil fertility in drained forests in connection with eventual intensive leaching of biogenous elements from the forest soils or changes of the water quality in natural watercourses as a result of drainage.

Having joined the European Union, Latvia should adopt its legislation in accordance with the international requirements. Such requirements in the sphere of environmental protection involve information about the environmental situation. Therefore, the current situation should be harmonised with a number of international environmental protection regulatory documents (EC Regulation of contamination with nitrates from agricultural sources (91/676/EEC), Regulation of freshwater quality (78/659/EEC), Convention of the Baltic Sea environmental protection, Helsinki, 1992 (1994), etc.). Recent information about output of biogenous elements with runoff is fragmentary and is generally related to the agricultural lands.

Massive efforts and large funds were invested in the forest drainage in the previous century. It was only in the 1990s that the reclamation operations were quite stopped for lack of funds. When the Joint stock company "Latvian state forests" was founded with the target to improve the forest productivity in commercial forests, the hydro-technical drainage had its urgency restored. It is also

relevant for private farms, at which disposal low-productive and waterlogged forest areas were often placed.

Water balance and cycle of substances in the Latvian forests is determined by local weather conditions and regional hydrogeological peculiarities. This is why it is necessary to make a critical appraisal of automatic application in our conditions of the models elaborated in other countries. It is proved that the location of waterlogged forests in Latvia is not determined by the precipitation, but the areas of confined aquifer water discharge rich in calcium and magnesium. Therefore, it is possible that forests are formed on a peat layer several metres thick. To determine the dynamics of output of nutrients and chemical element natural background in the water of drained forests, long-term observations should be carried out.

To characterise the effect of forest management measures (primarily hydro-technical drainage and selective cuts) on the forest stand structure and forest hydrological regime, the Vesetnieki Station of Permanent Ecological Research was founded in the area of Forest Research Station "Kalsnava" as early as in 1963. Regime of runoff and precipitation in the forest water confluence basins, groundwater table fluctuations, role of confined aquifer water in the forest ecosystem were studied. Besides, the succession of the forest ground cover vegetation was given to analysis. Forest taxation indices were re-measured in the forest stand sample plots on a regular basis. Systematic ground-, confined aquifer-, ditch runoff- and precipitation water sampling and chemical analyses making was commenced in 1997.

1.2. Aim of the thesis

The aim of the thesis is to determine the amount of biogenous elements and their input-output proportions in the drained forest water in connection with evaluation of hydro-technical drainage as a forest management measure.

1.3. Objectives of the research

1. To evaluate changes in the amount of biogenous elements in soil groundwater at a time period after drainage.
2. To characterise the amount of biogenous elements of precipitation in forest stand and in an open place.
3. To characterise the input of biogenous elements with confined aquifer water in forests with deep peat soils.
4. To evaluate the amount of biogenous elements in water and their output via watercourses of drained forests.
5. To elaborate models for characterisation of cycle of biogenous elements (N, P, K, Ca, Mg) in drained forests.

1.4. Scientific novelty and practical significance of the thesis

Several generations of researchers have worked at the issue of forest productivity improvement upon drainage. K. Bušs and A. Āboliņa investigated the changes in ground cover vegetation after the drainage, P. Zālītis – the forest hydrology issues. The Vesetnieki Station was founded to have counterarguments against gigantic plans of transformation of nature in Polesye. Long-term observations were started. Quantitative measurements of water balance were carried out. Nevertheless, for a long time there was no information of how the cycle of biogenous elements was running after the forest drainage. That's why measurements of the amount of biogenous elements in the station water were started in 1997 within the PhD work. The conclusions drawn in the PhD thesis are based on the results of a large number of analyses of repeatedly taken water samples characterising the dynamics of the amount of biogenous elements in precipitation in an open place, in precipitation got to the soil through forest canopy, in soil groundwater and confined aquifer water, in drainage ditches and natural watercourses. Within the PhD work, there were taken 2 518 water samples and made 17 600 water chemical analyses (49 repetitions) in the Vesetnieki Station.

To have the derived results compared and conclusions verified, water chemical analyses were carried out in the Sunīte and Viesīte Rivers in connection with the location of grey alder stands on their banks, and a wood-ash application experiment (50 t ha⁻¹) in Vesetnieki Station was organised.

The measurements of the amount of biogenous elements in the Vesetnieki Station in connection with the quantitative indices of water balance are deemed the only data of such large scope acquired on the basis of long-term observations in Latvia and rarely acquired worldwide.

The results obtained in the PhD work show that the biogenous elements incoming in drained forest ecosystem are being accumulated and used rationally for the timber increment. The amount of biogenous elements – oxygen, phosphorus and potassium incoming with precipitation exceeds the output of these elements with ditch runoff. Formation of high-productive forest stands on deep peat layer is assured with the inflow of confined aquifer water rich in calcium and magnesium.

1.5. Approbation of the research results

The results of the research have been presented in 16 international and 15 national scientific conferences. 19 articles have been published in international scientific issues and 19 articles – in national scientific issues (see pages 7 – 14).

1.6. Structure and coverage of the thesis

The PhD thesis is targeted to the becoming acquainted with the quantitative aspect of forest drainage including both widely investigated effect on the forest stand productivity increase and scarcely known cycle of biogenous elements after area drainage.

The PhD thesis includes introduction, five chapters (survey of literature, research objects, methods, results and discussion, conclusions) and list of literature sources.

The introduction describes the necessity of forest drainage, international relations in the environmental protection, peculiarities of water balance and cycle of substances in the Latvian waterlogged forests, and gives the thesis aim and objectives. The first chapter makes analysis of the existing knowledge of drained forest ecosystems, cycle of substances, energy and information, productivity of such ecosystems, the role of biogenous elements (N, P, K, Ca, Mg) and pH, the most significant research methods and effect of forest management measures on the cycle of biogenous elements. At the end of the chapter, there is a summary of the recent research level and substantiation of research necessity. The second chapter gives a detailed description of the research object – it is divided into 5 subchapters. The third chapter gives a characteristic of the research methods of the receipt of data of cycle of substances and forest taxation indices, as well as applied data mathematical processing methods. The chapter is divided into 5 subchapters. The fourth chapter, which is divided into 9 subchapters, provides for the PhD work results and discussion. Many significant aspects of drained forest ecosystems are analysed and updated with new information: changes of forest taxation indices; pine tree current increment dynamics; amount of biogenous elements in groundwater; output of biogenous elements from confluence basins with peat- and hydro-morph mineral soils, as well as from dry forests; models of runoff of biogenous elements; inflow of biogenous elements with confined aquifer water; balance of biogenous elements in forests on hydro-morph mineral soils and in forests on deep peat soils; leaching of biogenous elements from grey alder stand and effect of wood-ash application on the amount of biogenous elements in soil and groundwater. The thesis ends with conclusions and recommendations.

The promotion thesis volume is 155 pages; information is processed in 26 tables and 65 figures; 224 sources of literature are used. In the final part of the thesis, there are formulated 12 conclusions and 3 propositions.

2. Research objects

2.1. Description of the water confluence basins in Vesetnieki Station of Permanent Ecological Research

The Vesetnieki Station of Permanent Ecological Research is located in the territory of the State Forest Service structure – Scientific Research Forests in Kalsnava Forest Region and occupies an area of 386.3 ha. Geographic coordinates of the Station: east longitude from 25°50' to 25°53'; northern latitude from 56°42' to 56°43'.

The hydrographical net is formed with the Veseta River, which divides the station territory into two parts, and drainage ditch system. The geological structure of the station territory gives rise to preconditions of confined aquifer water discharge. On the Veseta River left bank, the piezometer water level is in average

80 cm higher than the soil surface. In some places, soil cracks are filled with water under the pressure, which causes water rising in groundwater observation wells up to 2 m over the peat soil surface. This is why an especially waterlogged zone is formed here and peat layer thickness exceeds 5.5 m in some places. On the Veseta River right bank, there are mainly forests with hydro-morph mineral soils, where the peat layer thickness does not exceed 30-40 cm. It points out to a less intensive paludification process as compared to the left-bank areas. At the Station territory, there are the areas, in which the piezometric water level is as deep as 8.6 m under the soil surface.

In the currently drained forest area, there was previously a fen and transitional-type mire, which was drained intensively with ditch and covered drainage. Ditches 1.1–1.2 m deep were excavated in 1960 and in some places a covered drainage 80–90 cm deep was arranged two years later.

The 1st, 2nd and 3rd water confluence basins on the Veseta River left bank are located on drained deep peat soils, but the 4th and 5th basins on the right bank - on drained hydro-morph mineral soils. The total area of first basin is 33 ha, of the second basin – 113.7 ha, of the third one – 139.1 ha, of the fourth one – 67.3 ha and of the fifth one – 33.2 ha.

A wood-ash application experiment is carried out in the Vesetnieki Station – in pine forest stands between the drainage ditches.

2.2. Stands of grey alder on the banks of Rivers Viesīte and Sunīte

The study of the grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) role in the output of biogenous elements with surface water is carried out in two suitable grey alder stands in Aizkraukle Region at the Sece Forestry territory by the Lielupe basin rivers – Viesīte and its tributary Sunīte.

Viesīte is a shallow but swift river with the total length 61 km. There are mainly farming lands and meadows on its banks. In the researched site, the river forms a water confluence basin of 169 km². In turn, the Sunīte River is 8 km long, but its confluence basin area is 31.5 km², which is completely covered with forest.

Water samples from the Viesīte River are taken at the 950-meter stretch of the river flowing through the Sece Forestry 184th quarter. The total area of the grey alder stand is about 19 ha. Water samples from the Sunīte River are taken at the 590-meter stretch of the river flowing through the 170th and 171st quarters. The total area of the grey alder stand is about 16 ha. The grey alder stands on both rivers are in each stand of various ages (4-35 years) and with admixture of many other tree species – spruce, birch, black alder and ash.

3. Methods

3.1. Description of cycle of the biogenous elements in drained forests

The forest water regime measurements in the Vesetnieki Station were started as early as in 1963 and expanded with new measurement types during the time. Rain and snow precipitation in an open place have been measured since 1963 with precision 0.2 mm (1 cm³) (Tretjakov's precipitation gauge) – daily. Also soil groundwater level measurements were started that year - 3 times a month. Besides, deep wells were bored for the piezometric level measuring of the confined aquifer water. In 1966, a hydrometric post or water runoff weir gauge was established for the each of water confluence basins in the lowest point of the basin, where the water discharge was measured continuously with the *Валдай*-type recorder. In 1967, rain and snow precipitation measurements were started with the frequency 3 times a month under the forest canopy – in total in 180 points in the forest stand of various structures. Data of all above mentioned measurements were used for calculations within the PhD work.

The chemical analyses of biogenous elements in ground-, confined aquifer-, precipitation and ditch runoff water was commenced in 1997 being made two times a month and continued until autumn of 2001. The obtained results were compared to the researches carried out at the time period of 1966 to 1974 by K. Bušs and I. Spalviņa in Vesetnieki immediately after the station territory drainage and to the results of analyses of water samples taken at the time period of July of 1996 to June of 1997 in the Lielupe water confluence basin rivers - Viesīte and Sunīte and in their inflowing streams, which drains the dry forests.

Quality and quantity of the precipitation inflowing in the drained forest ecosystem is characterised with the use of 25 precipitation collectors. 5 collectors are located in an open place – one of them in the Station centre, the other four – on a perimeter of the Station territory, approximately 1.5 km far from the centre. 20 collectors are located in the pine, spruce and birch stands, as well as in coniferous young growth, 5 collectors in each stand. To estimate the output of biogenous elements, water samples were taken in each of the 5 hydrometric posts, in three of which, water flow from the areas with deep peat soils was measured, and in two posts – from the areas with hydro-morph mineral soils. Analysis was made of water samples taken in 18 soil groundwater wells and 3 confined aquifer water wells at the depth down to 25 m, i.e. to characterise the background changes.

The amount of N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, P-PO₄³⁻, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and active reaction pH was determined for each water sample. Besides, the amount of available forms of nutrients in peat was determined and analyses of total amount of nutrients were performed for the total stock evaluation. The chemical analyses were performed in the Forest Environment Laboratory of the Latvian State Forestry Research Institute “Silava”. In total, 17 600 water analyses were performed from the research beginning until September of 2001.

3.2. Characteristics of the impact of the riverside grey alder stand

For the research of impact of riverside grey alder stand on the runoff of biogenous elements, water samples were taken in two grey alder stands in two different rivers – Viesīte and Sunīte. For the purpose of research, the water samples were taken in the current centre of each river, slightly beneath the water table – 100 m, 50 m and 5 m upstream and downstream from the grey alder stand, as well as in 3 places in the river at the stand territory - 1/3, 1/2 and 2/3 from the river overflowing through the grey alder plantation, as well as in the river inflowing rivulets - once a month at two periods: 1) in July to November of 1995 and 2) in July of 1996 to June of 1997. That water sampling place pattern was selected in order to have the amount of biogenous elements in the river water upstream from the grey alder stand, at the stand territory and downstream from it characterised with the minimal number of sampling places (9 places in each river). In total, 2107 river water and 42 rivulet water analyses were performed, mainly in the Forest Environment Laboratory of the Latvian State Forestry Research Institute “Silava”.

3.3. Estimation of impact of the ash application

To assure the required number of experiment repetitions and variety of forest growth conditions, 12 experimental plots were arranged in three different places or series (A, B and C) with four plots in each at the period of 19-21 May 2002. The A series plots are located in the plot with the *Vacciniosa turf. mel.* site type forest, the B series plots in *Myrtillosa turf. mel.* site type forest, but the C series plots - in *Caricoso-phragmitosa* site type forest. The plots in each series are located in a row-shaped transect at mutual distance of about 30 m.

In the centre of each circular sample plot, there is a groundwater observation well 2 m deep for water sampling. Wood-ashes were scattered around in the first plot of each series in the form of a ring 1 m wide with its inside edge located in a radius of 1 m around the well (fertilised area of 9.42 m²), in the second plot – in a radius of 2 m around the well (15.7 m²), in the third plot – in a radius of 3 m around the well (21.98 m²). When the soil filtration coefficient and water flow direction is known, ash scattering at different distances from the well gives an opportunity to calculate the speed of leaching and amount kg ha⁻¹ of the nutrients brought in with the ashes from the forest ecosystem to the drainage ditches. Each series fourth plot groundwater well is used for control – no ashes are scattered around it.

Naturally humid ashes are scattered in the arranged plots with the dose of 50 t ha⁻¹ or 5 kg m⁻². The ashes are taken mainly from the saw mill SIA "Vika Wood" located in Kurzeme, about 12 km far from the town Talsi. The ashes are derived from coniferous, mainly spruce, tree bark. The ashes are transported to the experiment location in plastic bags.

Groundwater samples are taken from the wells in the vegetation period twice a month, the amount of N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, P-PO₄³⁻, K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ as well as active reaction pH is determined in the Forest Environment Laboratory of the

Latvian State Forestry Research Institute “Silava”. 2506 water analyses are performed in thirty-two repetitions.

The ground cover vegetation after fertilising was measured in August of every year with the point method making use of a metal needle 1 m long (diameter 1 mm). 200 needle stitches are made in the fertilised and non-fertilised part of each plot registering the plants (mosses, vascular plants), which aboveground parts touch the needle. The occurrence coefficient and projective coverage is estimated for each species in the plot. With the use of Ellenberg scales, are acquired the light, temperature continentality, moisture, reaction, oxygen and soil fertility indices characterising the fertilised and non-fertilised part of each test area. The Tschekanovsky coefficient of similarity is used for vegetation comparison in the fertilised plots and nearest (non-fertilised) surroundings.

3.4. Description of the forest stand parameters

Estimation of the forest stand parameters aimed to the estimation of the forest stand volume in the permanent plots at the different distances from drainage ditches and check whether the volume increment had reduced near drainage ditches.

In July of 1999 and of 2006, 30 pine tree stand plots at the station territory were re-measured within the PhD work. The results were compared with previous measurement occasions since 1963. Tree stands measurement was performed in the plots with the area of 0.06 – 0.125 ha having measured all the trees in division of 2-cm diameter classes. To draw up height curves, tree height measurements were also performed for each species in diameter classes occurred. Stand average tree diameter and height, stand basal area $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$, volume $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ and number of trees pc. ha^{-1} was estimated for each tree species in the plots.

To reflect the pine current increment dynamics, three - 0.125 ha (25 m x 50 m) pine stand plots were selected, which were arranged in 1976 and located between 2 drainage ditches in the *Myrtillosa turf. mel.* site type forest. Two plots are located close to the ditches, and one - in between the ditches. The space between the ditches is 170 m. The pine current increment in the drained object is compared with non-drained transitional-type mire. To estimate the dynamics of pine stand volume current increment in forest stands with different drainage degree, 10 trees from the stand part with dominant height in each of three different objects (in a non-drained transitional mire, in forest stand between the ditches and in forest stand on drainage ditch edge) were selected, in which bores were made at the height of 1.3 m from the tree bottom collecting the wood radial cores. Annual ring width of each of the above mentioned 10 trees was measured for the previous 30 years (from 1970 to 2000). Then the basal area was estimated for each annual ring, which characterises intensity of growth of trees with different diameters. To compare the groundwater regimes, measurements of water level were performed in the groundwater level observation wells located close to each forest stand plot.

4. Results and discussion

4.1. Changes of forest stand taxation indices after the drainage

Before the drainage in the Station territory, there were low site index IV–V age class birch-pine stands. The stand composition 8P2B+E, stock $55 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, current stand volume increment $1.8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ per year (P – pine, B – birch, E – spruce). The stand volume increased twice for 10 years after draining and reached $112 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ in 1973. The stand composition 7P1E2B. Current stand volume increment $4.7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ per year. Permanent tree stand sample plots had been arranged at the station territory since 1963, in which the stand volume was re-measured every 4-5 years. Nowadays, 46 years after the draining, the average stand volume is $312 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Fig. 4.1). In general in 30 tree stand sample plots in 2006, the stand composition is 6P3E1B, current site index - II^a, stand volume - $312 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ and stand volume increment – $2.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ per year, which is lower than the same indicator in 1999 when it was $6.2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ per year. At the time period after drainage the pine and spruce stand volume has increased, but birch stand volume has reduced significantly. The spruce stand volume proportion in the forest stand composition has increased gradually, but birch and pine proportion has reduced. Tree stand volume in the non-drained site has increased very little during the research period and is actually kept at the initial level – about $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

The forest stand taxation indices of 2006 were compared to the measurement results of 1976. Changes in the tree species composition at different distances from the ditch for the given period are similar. The composition proportion of spruce has increased more rapidly on the ditch edge. Birch proportion is higher in between ditches both initially and at the present.

4.2. Dynamics of the current increment of pine

The highest increment is fixed with regard to the trees located close to the ditch, then an object in between the ditches follows and, finally, non-drained transitional mire. Increment reduction in the course of time after drainage is most probably related to the gradual choking of drainage ditches though increment differences between the objects have retained until now. The range of basal area of tree annual rings measured on the ditch edge varied from 15.56 cm^2 in 1971 to 7.45 cm^2 in 1998; in between ditches - from 10.06 cm^2 in 1972 to 5.86 cm^2 in 1982. In general, the pine increment dynamics in the non-drained transitional mire is quite unchanged. At the thirty-year period, it has varied within 1.80 cm^2 to 3.55 cm^2 . No increment decrease in drained objects has been observed approximately since 1980. It could mean that forest stand, in the course of growth, is able to compensate the ditch choking and soil moisture rise with transpiration.

The increment correlation with precipitation is weak, which is indicated with the fact that variations of the annual ring basal area of particular trees are not synchronous. Paired sample correlation analysis was performed having each tree object compared to each one separately in a non-drained (45 pairs) and drained (190 pairs) object. The correlation coefficient distribution was asymmetric towards positive

correlations, but the proportion of significant correlations was quite small (30%). It shows that pine trees react differently to the impact of the same meteorological factors.

To make the increment of annual rings connected with other significant element of ecosystem entry – mineral nutrients, basal areas of annual rings of 1997-2000 were used, as far as chemical analyses of biogenous elements were also performed in the Station at that time. As far as no significant differences were fixed between increments in particular years in any of the 3 objects (analysis of variance, $p=0.49-0.87$), it was no reasonable to evaluate the impact of ecological factors in dynamics (in time). Moreover, there were comparatively few (30%) significant correlations between basal areas of annual rings of particular trees in the same object. At the same time, there were significant differences of tree annual ring increment average values between investigated objects (analysis of variance, $p<0.05$). It means that the impact of ecological factors is to be evaluated having treated the investigated objects statically and compared average values of environmental factors with average increments. Apart from the above mentioned mineral nutrients, groundwater level at the vegetation period was also evaluated.

Trees on ditch edge had the largest basal area of annual rings (8.92 cm^2), but in the non-drained transitional mire – the smallest (2.64 cm^2). It is largely explained with the different groundwater regime. Groundwater in the soils rich in organic substances nearly lacks oxygen, and the tree roots which are in the water suffocate. It is stated that tree roots in saturated peat soils reach the depth down to 40 cm. The more is the number of days when groundwater is closer to soil surface ($< 40 \text{ cm}$), the more the forest stand productivity is reduced (Залитис, 1983). The groundwater level in the transitional mire was always shallower than 40 cm (in average 6 cm), but the possibility to exceed 40 cm in the drained object was 68% (average level 56-57 cm). Nevertheless, the significant differences between tree annual ring increments in the plots in between ditches (6.75 cm^2) and on ditch edge (8.92 cm^2) cannot be explained with the groundwater level, as far as it is almost equal. The increment differences are most probably related to the better soil aeration near a drainage ditch, which assures a higher water flow speed towards the ditch.

A larger amount of plant available forms of N-NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} is fixed in the object in drained forests, but N-NO_3^- and P-PO_4^{3-} - in the non-drained transitional mire. The analyses revealed higher values of pH in the transitional mire groundwater and soil as compared to the object in drained forests. It is known that the flow of nutrients in high productive forests is faster and in low productive – slower. As far as it is impossible to determine the speed of nutrient cycle with soil analyses, it is impossible now to estimate precise results – high productive forest trees take nutrients so rapidly that they are shown in small amounts by soil analyses. A wrong impression is appearing that the soil is poor, though the plants are well supplied with minerals.

Many concomitant factors, which are still unknown to us, are the reason for annual rings becoming wider in certain trees or narrower in others upon changes of meteorological factors. This is why the variations of tree annual ring width should be used very carefully for the interpretation of meteorological conditions of previous years.

4.3. Amount of biogenous elements in groundwater

It is established that at the present time, 49 years after drainage, there are no significant changes in the amount of N-NH_4^+ , P-PO_4^{3-} , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} in soil groundwater in water confluence basins on drained peat soils irrespective of the changes in the forest stand structure occurred for the given years. It is established upon analysis of long-term average data that only the content of N-NO_3^- has increased significantly (from 0.1 to 0.5 mg l^{-1}) as compared to the research carried out by I. Spalviņa and K. Bušs (in 1966-1974) shortly after drainage, and pH level increase is observed from pH 5.97 to pH 6.72 (Fig. 4.2).

It is revealed upon analysis of substance amount in groundwater that water confluence basins of peat and mineral soil differ significantly in potassium amount ($\text{K}^+ F_{\text{act.}} = 6.86 > F_{\text{crit.}} = 3.81$). More potassium is contained in drained mineral soil groundwater. The amount of K^+ ions in ditch runoff water is also higher in mineral soil groundwater. Similarly, differences in Ca^{2+} and Mg^{2+} are close to significant between groundwater of drained peat and mineral soil confluence basins. The amount of these ions is bigger in drained peat soil groundwater.

Significance of difference of groundwater active reaction pH ($\text{pH } F_{\text{act.}} = 13.0 > F_{\text{crit.}} = 3.81$) between forests on hydromorphic mineral soil and forests on hydromorphic peat soil is logical: water is more acid in peat soil and more alcaic in mineral soil.

4.4. Runoff of the biogenous elements from the water confluence basins with drained peat- and hydro-morph mineral soils and from dry forests

In connection with discharge of confined aquifer water rich in Ca and Mg ions, special attention in many aspects is paid just to these ions. It was revealed in the research that the amount of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions in confined aquifer water wells with the depth of 20 m in confluence basins was bigger than in similar wells on hydro-morph mineral soil ($\text{Ca}^{2+} F_{\text{act.}} = 63.68 > F_{\text{crit.}} = 3.95$). In turn, contrary to expectations, no increased amount of Ca^{2+} or Mg^{2+} ions was fixed in ditch runoff from drained peat soil. At the period of 1997-1999, the amount of Ca^{2+} in ditch runoff from hydro-morph mineral soil was just slightly bigger than in peat soil water confluence basins equalling to 52.7 mg l^{-1} and 51.6 mg l^{-1} , respectively. But this difference is not statistically significant. At the same time, the runoff of Ca^{2+} ions from drained peat soil was 178.9 kg ha^{-1} per year and it was 119.6 kg ha^{-1} per year from hydro-morph mineral soil, which could be explained with exhausted water runoff in mineral soil water confluence basins at the periods of summer drought. The Ca^{2+} runoff difference between the peat- and hydro-morph mineral

soil water confluence basins is significant ($\text{Ca}^{2+} F_{\text{act.}} = 6.42 > F_{\text{crit.}} = 3.81$). The difference between the amount of Mg^{2+} and N-NO_3^- output with ditch runoff between the two soil basins is also significant.

It appeared upon comparison of results of analyses of water samples taken in the research objects that the largest amount of biogenous elements – N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} and K^+ was in the objects in grey alder stands in dry forests. But the largest amount of N-NH_4^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} was in the water runoff in drained forests.

The N-NH_4^+ runoff, which equalled to 7.1 kg ha⁻¹ per year, was large as compared to the ammonium nitrogen runoff in the river in the dry forest object, were it equalled to 0.6 kg ha⁻¹ per year. Increased runoff of the substances from drained areas took place due to the water flow from ditches in areas with deep peat soil, which did not get exhausted in summer, while the rivulets in dry forests got exhausted. As far as it is established upon determination of the substance balance in drained forests that the input of N-NH_4^+ , N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} and K^+ to the forest ecosystem with precipitation exceed the output of the said substances through drainage ditches in the forests both on deep peat soil and hydro-morph mineral soil, it cannot be stated that the substances are washed out intensively. In turn, the output of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions with ditch runoff exceeds many times the input of these substances with precipitation water.

The above mentioned increased amount of basic ions in the drained forest ditch runoff water and river is also approved with the more alcalic water active reaction pH 7.4 and pH 8.0, respectively. On the contrary, water in the object in dry forest had more acid water active reaction – pH 6.3 in the rivulets and pH 7.0 in the river. The difference in water pH level between the objects in drained and dry forests with 95% probability was statistically significant (analysis of variance, $p < 0.05$).

4.5. Runoff models of biogenous elements from forested lands

To estimate the runoff of biogenous elements, water samples were taken in each of 5 hydrometric posts, in 3 of which water runoff through ditches was measured in the deep peat soil areas, and in 2 posts – in the hydro-morph mineral soil areas. For the development of nutrient runoff models, the substance concentration derived at the period of 1997-2001 and long-term water discharge observational data since 1966 were used.

The water discharge amount has undoubtedly the greatest significance for the nutrient runoff formation, as far as the substances could be only transported with a water flow. It turned out upon processing of runoff data for the period of 1969-2001 with the one factor analysis of variance that both daily and cumulative hydrological year runoff of the five Station water confluence basins differed significantly (one factor analysis of variance, $p < 0.05$). Having divided the calendar year into four equal parts – seasons (spring: April, May, June; summer: July, August, September; autumn: October, November, December; winter: January, February, March), we get four periods of drastically (one factor analysis of

variance, $p < 0.05$) different wateriness. The highest runoff was fixed in spring and the lowest – in summer. Only the difference between the autumn and winter runoff (one factor analysis of variance, $p = 1.000$) was not significant.

Statistically significant differences were also established between runoff amounts in particular years as well as average daily runoffs in particular years (one factor analysis of variance, $p < 0.05$). Certainly, the differences were not significant for all years.

The above mentioned runoff differences were regarded, when nutrient runoff models were worked out. To have extrapolated the substance concentration in ditch runoff in between the water sampling days, it was attempted to make the substance concentration in water related to the water discharge amount (in mm per 24 hours) on the sampling day. The relation in the form of linear regression was estimated for each analysed substance (N-NH_4^+ , N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+}) for each of the five water confluence basins in each of the four seasons. The relation was statistically significant only in 7 of 120 cases (Table 4.1). In all cases, except for N-NH_4^+ in the 2nd basin in spring, the established significant relation showed that the substance concentration in water reduced upon increase of runoff amount in a ditch. In the above mentioned exception case, on the contrary, the concentration of ammonium ions increased in the water upon increase of the water discharge amount in ditch. Most probably, it was related to the circumstance that ammonium ions were washed out to ditches intensively at the time of heavy rains, when the groundwater level went up and runoff intensity increased. Nevertheless, in general, the amount of biogenous elements in water has a variable character, which allows consider that a larger amount of biogenous elements is washed out with a larger amount of water.

To estimate the runoff of substances on the water sampling day, the relevant day concentration was multiplied by the day water discharge amount. To determine the substance concentration on the days in between the water sampling days for the seasons when the statistically significant difference was established between the substance concentration and relevant day water discharge amount, it was estimated by the formulated equation. For the seasons when no significant difference was established between the water discharge amount and substance concentration, an average substance concentration calculated in a relevant season was used for the substance runoff estimation.

For the seasons when no water sampling was carried out at all, an average concentration in a particular water confluence basin in a relevant season at the time period of 1997-2001 was assumed. If there was a single measurement of the substance concentration in any season (for instance, in spring of 2001 or in summer of 2001), an average value in a particular water confluence basin in a relevant season at the time period of 1997-2001 was assumed for such season. Thus, the substance concentrations in ditch runoff water were estimated or assumed for each day for each water confluence basin. Having multiplied relevant daily water discharge amount by substance concentration and divided by water confluence

basin area, the substance runoff value in kilograms per hectare in a day was received.

The annual runoff values in the water confluence basins of the Vesetnieki Station for the time period of 1969 to 2001 was estimated after the above method. The highest runoff of nutrients was fixed in the wet and rich in precipitation years 1981, 1990 and 1998, but the lowest one – in the dry years 1996, 1976, 2001 and 2000. Using information of the annual water discharge amount and nutrient runoff, a nutrient runoff model is worked out for each studied substance in the form of linear regression, which is usable for determination of nutrient output via watercourses from the Latvian waterlogged forests by putting in the equation the water discharge amount from the concerned territory. N-NH_4^+ , N-NO_3^- and P-PO_4^{3-} is estimated by the regression equation in the model for each water confluence basin of the station Vesetnieki separately making use of the derived basin annual water discharge amount and substance runoff values. The N-NH_4^+ runoff model is showed in Fig. 4.3. But K^+ the runoff from hydro-morph mineral soil and peat soil basins clearly divides in both soil groups, due to which only two regression equations are made for potassium (Fig. 4.4). Runoff from basins with drained peat soil and mineral soil are marked in the figure with points of different colours. Calcium and magnesium runoffs from all basins of Vesetnieki Station are well described with one regression line and equation. A model of Mg^{2+} runoff is seen in Fig. 4.5.

4.6. Inflow of biogenous elements with the confined aquifer water

Research of the confined aquifer water discharge regime in drained forests in the station Vesetnieki was started in 1972, when 33 deep-bore (5-31 m deep) observation wells were bored, 17 of which went down to the upper Devonian dolomites. The dolomite level at the Station territory is characterised with magnesium- and calcium-type underground water. That is why the concentration of calcium and magnesium ions in peat soil groundwater illustrates clearly the confined aquifer water discharge intensity. At the vegetation period, the confined aquifer water discharge to the forest ecosystem with deep peat soil varies within 10 mm (in very dry summers) to 102 mm (in rainy summers) (Залитис, 1983). In a physical aspect, the discharge intensity is directly proportional to the difference $\Delta h = h - H$ between the confined aquifer water piezometric water level h and the soil groundwater level H , filtration coefficient k and inversely proportional filtration path length l . Territorial differences of the discharge intensity in the forests on hydro-morph mineral soil and on deep peat soil cannot be estimated precisely within one plot of forest, as far as it is impossible to get required information either on the filtration path length, which is generally characterised by thickness of a clayic barrier layer, or on the filtration coefficient of this layer. Therefore, the discharge amount values for confined aquifer water rich in minerals are comparatively conventional and are only characterised with the level difference $\Delta h = h - H$.

Pressure of the water accumulated in the upper Devonian dolomite cracks under the water non-transparent glacial clay barrier layer is territorially equalised and its piezometric surface forms a comparatively plane surface. We can assume that h changes linearly between two comparatively closely located confined aquifer water observation wells. It gives a certain opportunity to estimate the confined aquifer water piezometric water level making use of the triangle equation rarely used in the forest hydrology practice:

$$ax_i + by_i + ch_i = 1, \quad (1)$$

where x and y - plane coordinates of deep-bore wells,
 h – piezometric level height above sea level, and $i = 1...3$.

Making use of the estimated coefficient numerical values a , b and c , h can be estimated as well as $h-H$ values in every point of plane with the coordinates x and y , where the soil groundwater level H is measured.

The difference between the confined aquifer water piezometric water level in the forests on drained peat soils and adjusted dry hills at the Vesetnieki Station territory reach 12 m: $h_{\max.} = 102.01$ m and $h_{\min.} = 89.53$ m. Upon estimation of h and measurement of H , comparatively great differences of the average numerical values Δh were outlined in the Vesetnieki Station forests on drained peat soils: from -97 cm to +265 cm. Therefore, an aim was set to clear out whether there are also different concentrations of calcium and magnesium ions dissolved in the soil groundwater in the places with different Δh , which are characteristic to the confined aquifer water localised in dolomites.

To have it verified, 7 measurement points were selected: data derived in 3 measurement points made one set of low pressure, where average values of Δh were within the limits of -97 cm to +27 cm; the other set of high pressure was made with data derived in 4 measurement points with average values of Δh within the limits of +162 cm to +205 cm.

In the soil groundwater level observation wells with the depth down to two meters in the previous five years, the average concentration of ions in the zone of low pressure of confined aquifer water with $\Delta h = -20$ cm was: Ca–17.4 mg l⁻¹; Mg–6.1 mg l⁻¹; in the zone of high pressure with $\Delta h = +213$ cm it was: Ca–45.0 mg l⁻¹; Mg– 15.0 mg l⁻¹.

Extra inflow of biogenous elements with confined aquifer water also tells on the forest productivity: increment of the height of 8 pine forest stands growing in the high pressure zone for the previous 25 years corresponds to the first site index; increase of the height of 7 crops in the low pressure zone – to the second site index. It confirms the above mentioned (Zālītis, 1996) regularity that the types of forests on drained peat soil and related forest productivity reflect the confined aquifer water discharge intensity: confined aquifer water discharge is twice more intensive in the *Myrtillosa turf. mel.* site type forest (1st yield class) than in the *Vacciniosa turf. mel.* of a one class lower yield class.

Therefore, we can consider that concentration of biogenous elements in soil groundwater changes along with changes in the difference of the confined aquifer water piezometric water level and soil groundwater level Δh .

Concentration of calcium and magnesium ions in the forests with a thick peat layer (thickness > 50 cm) in connection with the period of Δh changes was analysed in seven measurement points having 48 groundwater samples taken in each of them and analysed during 5 years. At the same time, also the soil groundwater level elevation and piezometric level in deep-bore wells were measured, from which the confined aquifer water piezometric water level elevation by each of the soil groundwater observation wells was estimated using the equation of a plane. Having arranged the measurement points by their arithmetic-mean values Δh in ascending sequence and evaluated the difference of two neighbouring values after the Stjudent test, we can conclude that all the differences are significant ($t_{act.} > t_{0.05} = 1.96$). It certifies that the Δh territorial differences are much greater than the dispersion of Δh indications in one measurement point during 5 years. In the forests on drained peat soil, where Δh is conventionally low, its values have varied for five years within the limits of -170 cm to +40 cm, in the measurement places, where Δh is conventionally high – within the limits of +130 cm to +280 cm.

Upon estimation of the relationship of concentration of Ca and Mg ions in soil groundwater and Δh in 7 measurement points, peculiarity of each measurement point has manifested itself flatly, which is determined by: 1) comparatively minor fluctuations of Δh values in every measurement point and 2) small correlation between Δh and concentration of Ca as well as Mg ions in one measurement point: $r = 0.01 \dots 0.25$ with $r_{0.05} = 0.31$. It indicates that changes in the concentration of ions in one place are to be assessed as accidental.

Upon joining into single group of all 293 measurements in the forest with thick peat layer with Δh fluctuations within -169 cm to +284 cm, significant relationship of Δh and concentration of ions has manifested itself (Fig. 4.6). The correlation coefficient between Δh (cm) and concentration of Ca ions (mg l^{-1}) $r = +0.66$; between Δh (cm) and concentration of Mg ions (mg l^{-1}) $r = +0.52$, with $r_{0.05} = 0.11$. The relationship of Δh and concentration of ions is characterised with regression equations:

$$\text{Ca} = 0.1121 \Delta h + 21.9; \quad (2)$$

$$\text{Mg} = 0.0343 \Delta h + 7.5. \quad (3)$$

Having joined into another group the results of 242 measurements of concentration of Ca and Mg ions in soil groundwater in the forests on hydro-morph mineral soil (peat layer thickness not exceeding 20 cm), the following average rates are received: Ca – 26.8 mg l^{-1} with standard error of mean 2.1 mg l^{-1} and Mg – 9.8 mg l^{-1} with standard error 0.6 mg l^{-1} . Having put the figures in the above mentioned regression equations, we receive the following Δh values: in connection with concentration of calcium ions $\Delta h = 44$ cm and in connection with magnesium ions $\Delta h = 67$ cm. We could conclude from those results: the difference of the

confined aquifer water piezometric water level and soil groundwater level $\Delta h \approx 0.5$ m is able to assure the same concentration of calcium and magnesium ions in soil groundwater as in hydro-morph mineral soil. If $\Delta h > 0.5$ m, the peat soil is better supplied with calcium and magnesium than hydro-morph mineral soil, where Δh is negative and nutrients are derived by forest stand from the mineral horizons of the soil.

It also explains the facts that in the Vesetnieki Station dry forest adjoining forests on drained peat soil with a comparatively thin peat layer, where biogenous elements flow in from neighbouring mineral grounds, the forest stand productivity is often lower than the forest stand productivity far from the dry hillsides in locations with a thick peat layer (2-5 m), where the inflow of minerals is provided with intensive discharge of confined aquifer water.

Thus, we could conclude that the forest stand productivity in the waterlogged and drained forests with a thick (0.3-4.5 m) peat layer is not depending from the peat layer thickness; the mineral nutrients required for the forest growth flow in by discharge of confined aquifer water.

4.7. Balance of biogenous elements in drained forests with the peat- and hydro-morph mineral soils

The balance of biogenous elements is characterised with the difference of input and output of biogenous elements. The input takes place with precipitation, but output - with water runoff through ditches. The balance of analysed substances is made for each of the five water confluence basins of the Vesetnieki Station of Permanent Ecological Research.

The derived results show that the input of nitrogen, potassium and phosphorus exceeds the output in one year; on the contrary, output through ditches of calcium and magnesium is higher than the input to the forest ecosystem with precipitation both in the forests on deep peat and in the forests on hydro-morph mineral soil. The highest output of Ca^{2+} and Mg^{2+} in a season was fixed in the 3rd water confluence basin from drained peat soil and the lowest - in the 4th water confluence basin from drained mineral soil. The balance of biogenous elements N-NH_4^+ and Ca^{2+} is shown in Fig. 4.7 and 4.8.

The heightened output of Ca^{2+} and Mg^{2+} with ditch runoff proves the significant peculiarity of the Latvian waterlogged forests in general – the confined aquifer water discharge from the upper Devonian dolomite layer (Залитис, 1983; Zālītis, Indriksons, 2003) plays an important role in the water balance incoming part and in paludification process. The water saturated with Ca^{2+} and Mg^{2+} partially join the soil groundwater and partially discharges directly in the drainage system, which explains the ditch water alcale reaction ($\text{pH} > 7.0$). The results of research do not allow at the present to state that higher output from drained peat soil shall evidence high outwash of nutrients and exhaustion of such soil, as far as it has been clarified in other researches in non-drained areas and dry forests that outwash

(runoff) of Ca^{2+} and Mg^{2+} from the ecosystem is higher than input with precipitation (Matzner, 1988).

When the water leaches through the forest canopy, the amount of N-NH_4^+ in it reduces slightly, the amount of N-NO_3^- and P-PO_4^{3-} reduces more, but the amount of K^+ increases; the amount of Ca^{2+} and Mg^{2+} as well as pH values do not differ significantly: in average pH = 6.51 in an open place, pH = 6.31 under the forest canopy. For comparison: pH = 7.32 in the water run off through ditches from the forests on peat soil, from the forests with hydro-morph mineral soil – pH = 7.44 and in the River Veseta draining the deeper ground layers at the Station territory – pH = 8.03.

Heightened volume of ammonium input in Vesetnieki is partially explained with the fact that the precipitation collectors gather water by the soil surface taking in also the grass interception and its impact on the water chemical composition formation.

Using the regularities between the incoming substance concentration in water and the inflowing or outflowing water amount, which were recorded in the Vesetnieki Station at the period of 1997 to 2000, retrospective data extrapolation was performed for the time period back to the beginning of hydrological observations in 1960s.

It was calculated that it was introduced with the precipitation in an open place per hectare 485 kg N-NH_4^+ , 30 kg N-NO_3^- , 46 kg and P-PO_4^{3-} , 390 kg K^+ , 1240 kg Ca^{2+} and 505 kg Mg^{2+} during 31 years at the post-drainage period. At the same time, it was leached with the ditch runoff from the forests on drained peat soil and forests on hydro-morph mineral soil 194 kg and 110 kg N-NH_4^+ , 21 kg and 2 kg N-NO_3^- , 3 kg and 4 kg P-PO_4^{3-} , 133 kg and 72 kg K^+ , 6727 kg and 3214 kg Ca^{2+} , 2252 kg and 1085 kg Mg^{2+} , respectively. The data analysis showed that the output of Ca^{2+} , Mg^{2+} and N-NO_3^- from the forests on drained peat soil was significantly higher than from the forests on hydro-morph mineral soil at the 31-year period.

The research data in general show that the nutrient balance in the forest ecosystem at the period of one year or several years is to be assessed as equalised, i.e. the nutrient output does not exceed its input. Such relationship of input and output is a very important precondition for the forest ecosystem sustainability. At a longer time period (several decades), the input exceeds the output and the amount of accumulated biogenous elements in forest ecosystems increases gradually, due to which the stores of plant nutrients in drained forests increase.

4.8. Runoff of biogenous elements from the grey alder stands

Grey alder is one of the species, which is able, with the help of root nodule bacteria, to absorb intensively atmospheric nitrogen facilitating, consequently, the more intensive accumulation of nitrogen and possibly other nutrients in fallen leaves and soil. It gives a reason to think that the nitrogen content could be also increased in the river, which flows through such grey alder stand.

To assure the comparison and verification of derived results, the research was carried out simultaneously on grey alder soil by two rivers – Viesīte and Sunīte.

To determine the sampling place and time influence proportion in the variation of quantitative indices, a 2-factor analysis of variance was applied with data analysed in distribution by seasons and sampling places: 1) upstream stand, 2) in grey alder stand and 3) downstream stand.

In the River Viesīte the sampling period or season influence proportion to the analysed substances varied within 5 – 59%. The season influence with 95% probability was significant for all substances (analysis of variance, $p < 0.05$). The sampling place influence proportion was very small and varied within 0.4 – 7%. In the River Sunīte, the season influence proportion was slightly bigger than in the River Viesīte and varied within 17 – 59%. The season influence on the total amount of analysed substances was significant (analysis of variance, $p < 0.05$). But the sampling place influence proportion was trifling and varied within 0.1 – 2%.

Pursuant to the assessment of dynamics in time of the amount of biogenous substances, the amount of N-NO_3^- both in the River Viesīte and in the River Sunīte was definitely the largest at the summer - autumn low wateriness period and the smallest - at winter period (analysis of variance, $p < 0.05$). It was also true for P - PO_4^{3-} . On the contrary, the amount of N-NH_4^+ was the largest in winter (in the River Viesīte) and at the spring - summer high wateriness period (in the River Sunīte), but the smallest amount was at the summer - autumn low wateriness period (analysis of variance, $p < 0.05$). The largest amount of K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} ions in the Viesīte and the amount of Mg^{2+} ions in the River Sunīte was at the summer - autumn period, and the largest amount of K^+ and Ca^{2+} ions in River Viesīte the was observed in winter. In turn, the smallest amount of the said ions in both rivers was fixed at the spring - summer high wateriness period (analysis of variance, $p < 0.05$).

Although there were no statistically significant differences in the amount of nitrogen or phosphorus (analysis of variance, $p = 0.08 - 0.8$ in the River Sunīte and analysis of variance, $p = 0.26 - 0.97$ in the River Viesīte), still the average annual amount of N-NH_4^+ (from 0.41 to 0.49 mg l^{-1}) and P - PO_4^{3-} (from 0.07 to 0.08 mg l^{-1}) increased in the river water downstream from the grey alder stand in the River Viesīte. The amount of N-NH_4^+ in the River Sunīte at the grey alder stand territory increased (from 0.97 to 0.99 mg l^{-1}) and reduced again (0.96 mg l^{-1}) downstream from the stand. At the grey alder stand territory and downstream from it, the increase of the amount of N-NH_4^+ and N-NO_3^- demonstrated itself most convincingly in summer months - June, July and August as well as at the winter period.

Though the amount of N-NH_4^+ in the water of both rivers in the research objects exceeded the value specified in the surface water quality requirements (0.39 mg l^{-1}) ("Virszemes ūdeņu kvalitātes prasības" [Surface water quality requirements], 1997), no statistically significant increase of the amount of

biogenous substances was fixed as a result of investigation in the river at the grey alder stand territory or downstream. It is concluded in the literature that in the specific gravity of nitrogen fixed by alder, organic substances prevailed considerably in total nitrogen of soil in alder stand (Hendrickson, Chatarpaul, 1984). It is proved with researches in deciduous forests in the USA and Germany that over 90% of nitrogen contained in the ecosystem is concentrated in forest fallen leaves and plants, where it is fixed biologically, and just 2% is in a non-organic form in the soil (generally in the form of NH_4^+) (Melillo, 1979).

Having compared the data derived by V. Jansons (1996), the Integral Monitoring plots in Latvia (Lulko, Frolova, etc., 1997) and also of Vesetnieki Station on output of biogenous elements, we could conclude that the runoff of biogenous elements to the river flowing through the grey alder stand does not reach the amounts, which are characteristic to the intensively managed agricultural territories, and are not large as compared to the runoff in forest stands of other tree species (Table 4.2).

4.9. Impact of wood-ash application on the amount of biogenous elements

Already from the past centuries, wood-ash was used as a natural calcification material, which reduced the soil acidity and improved accessibility of nutrients to plants. One of the ash practical use opportunities is its return to the forest. Nevertheless, the ash application impact on the environment has been researched not enough: ground cover vegetation, content of nutrients, mycorrhiza and groundwater quality.

It was showed with a chemical analysis of soil groundwater samples taken within experiment that no significant amount of ash elements or pH value increase in groundwater had been established for the time being. Average values of the analysed elements and other statistical data are presented in Table 4.3.

Nevertheless, after all fertilised and control plot groundwater analyses values were summed up, in general, a statistically larger amount of both nitrogen (N-NH_4^+ and N-NO_3^-) (probability 95%) and potassium (probability 90%) was fixed in the fertilised plot groundwater. The amount of K^+ in the fertilised test area groundwater in most cases was larger as compared to the groundwater in control wells. Unexpected was a lack of increase of the amount of calcium and magnesium ions in fertilised plot groundwater at a large dose of Ca^{2+} and Mg^{2+} introduced with ash, respectively, 282 g m^{-2} and 382 g m^{-2} , or 2.8 t ha^{-1} and 3.8 t ha^{-1} . Most probably, the said elements have not been washed out as yet from the layer strewed over with ash and are still present in the soil surface layer.

Statistically significant differences were fixed in the amount of K^+ in groundwater wells located at different distances from the ash belt ($p=0.01$). The largest amount of K^+ was fixed in the wells with ash application at the distance of 1 m. The amount of other elements was also larger in the wells at a closer distance to the ash application.

Having assumed that the biogenous elements contained in ash are leached into the soil with precipitation in the course of time, also soil analyses were made in the fertilised plots. The peat soil samples were taken at the depth of 0-15 cm before the experiment commencement (in May of 2002) and in the second year after fertilisation (in November of 2003). In the sampling in 2003, the samples were taken from both fertilised part (a ring of strewed over ash) of the plot and several meters far from it - from non-fertilised areas.

Phosphorus and potassium in the plant-available or active form was met in a large amount in almost all plots - in their fertilised parts. The effect of introduced manure comparatively well manifested itself also in the N-NH_4^+ amount analysis. Nitrogen is actually absent in the ash content, but its amount in the soil could be influenced with microbiological activity facilitated by other nutrients. The ash manure effect also expressed in a low (pH from 5.4 to 5.7), but, with 90% probability, statistically significant increase of pH value ($p < 0.1$).

It was quite amazing that the large doses of Ca^{2+} and Mg^{2+} introduced with ash were not reflected in the increase of amount of the said elements in peat in the second year after fertilisation. It is possible that leaching of calcium and magnesium from ash and coal runs slower and these are still accumulated in the soil cover. As the Scandinavian researcher's experience shows, leaching of nutrients is insignificant in the initial 3-6 years after ash application. Therefore, their amount in the soil and groundwater has not increased significantly for the time being.

Reaction, nitrogen and substrate richness value (R+N) increase in the fertilised part of plots were derived making use of Ellenberg index values of the ground cover vegetation analysis. The difference between belts strewed over with ash and adjoining surroundings increased in the next years after fertilisation. Making use of the ground cover plant species projective coverage as a criterion, Tschekanovsky coefficient of similarity was calculated for both fertilised and non-fertilised part of each plot. Absolute values of the coefficient reduced for most plots in 2003 as compared to 2002, which indicated the increase of differences between fertilised parts of the plots and their surroundings.

Many changes were observed in the composition of species in the plots fertilised with ash. The moss cover reduced significantly after ash strewing over in 2002. The moss *Funaria hygrometrica* Hedw. characteristic to burned-out places and nitrophyte *Stellaria media* (L.) Vill. appeared in 2003. The nutrient-demanding *Marchantia polymorpha* L. emend. Burgeff. appeared in the test areas in 2004. The previous moss cover was largely restored in 2005. Of nitrophytes, *Tussilago farfara* L. and *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. appeared that year.

A large dose of ash application – 50 t ha^{-1} has not caused recently any significant changes of environmental parameters in the plot area. The statistically significant increase of average values of particular elements, mainly nitrogen substances and potassium, in the groundwater and soil yet does not evidence any threat of contamination, thus certifying the opinion on the forest ecosystems' high

capacity of accumulation of biogenous elements made after the input - output measurements. The element concentrations were below the values specified in the water quality requirements during the entire period of observations.

5. Conclusions and recommendations

Conclusions

1. The researches in the experimental plots approved the recent opinions that the forest hydro-technical drainage is most efficient approach for forest yield capacity and productivity improvement in Latvia. The forest stand volume increased from $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ to $312 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ during forty-six years after the drainage of waterlogged forests. The current timber increment at the post-drainage time was always larger in the more intensively drained part of forest stand in the ditch edge, as a result of which the stand volume in the ditch edge of plots is still larger than in the plots in between the ditches.
2. The amount of N-NH_4^+ , N-NO_3^- and P-PO_4^{3-} reaching the soil with precipitation during a year is larger in an open place, while the amount of K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} - in the water flowed through the forest canopy.
3. The largest amount of plant-available N-NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} in the peat was fixed in the intensively drained forests, but the amount of N-NO_3^- and P-PO_4^{3-} - on the non-drained transitional mire.
4. The types of forest on drained peat soil and related forest productivity reflect the impact of discharge of confined aquifer water. The amount of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions in the soil groundwater is larger in the sites with higher piezometric water level gradient. Sites with a higher gradient conform to the *Myrtillosa turf. mel.* site type forests, but those with a lower gradient – to the *Vacciniosa turf. mel.* site type forests.
5. A considerably smaller content of biogenous elements is fixed in the drained forest stand groundwater as compared to the non-drained transitional mire, which evidences that the elements are taken by the trees more intensively for the timber increment. On the contrary, overall analyses of peat soil disclose considerably larger accumulation of N, P, Ca and Mg in the drained forest peat than in the peat top layers in non-drained transitional mire, thus proving great abilities of the forest ecosystem to accumulate biogenous elements.
6. Increase of the amount of N-NO_3^- from 0.1 mg l^{-1} to 0.5 mg l^{-1} as well as changes of pH from 5.9 to 6.7 are fixed in the soil groundwater in the course of time after drainage; the changes of other element amount are statistically insignificant.

7. The substance concentration (mg l^{-1}) in ditch water in most cases correlates negatively with the water runoff intensity, as far as it is thinned at a larger water amount. Nevertheless, the concentration of N-NH_4^+ in water in spring significantly correlates positively ($r = +0.57$ at $r_{0.05; 14}^2 = 0.32$) with the runoff intensity. It could be eventually explained with a more intensive leaching of ammonia nitrogen from peat upper horizons at the highest groundwater level.
8. The amount of biogenous elements in the runoff water of drained forest ditches and dry forest rivulets does not differ statistically significant. Nevertheless, absolute values of concentration of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions and particularly of N-NH_4^+ are larger in ditches of the types of forests on drained peat soil, where most alcalic water active reaction pH is also fixed. Differences of substance output between the forests on drained peat soil and dry forests are explained with inexhaustible water flow in the forests on drained peat soil at the periods of summer drought. On the contrary, absolute values of the amount of N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} and K^+ are larger in the object in grey alder stand in dry forests.
9. As a result of research, no statistically significant increase of the amount of biogenous elements was established through the nitrogen fixer – grey alder stand flowing river at the stand territory or downstream. Nevertheless, the amount of N-NH_4^+ obtained in the studied rivers and rivulets exceeds the value specified in the surface water quality requirements. The sampling season has an important influence on the amount of substances in the river water. Increase of the amount of nitrogen in the river water downstream from the grey alder stand is more obvious in summer months – June, July and August as well as at the winter period.
10. The comparison of our data and other investigator's research results shows that nitrogen runoff from farming lands is 3 times larger than from drained forests and 29 times larger than from dry forests, but phosphorus runoff is 3 times larger than from drained forests and 14 times larger than from dry forests.
11. Input of N-NH_4^+ , N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} and K^+ into the drained forest ecosystem with atmospheric precipitation exceeds the output of the same substances via drainage ditches, which indicates accumulation of the given substances in the forest ecosystem. On the contrary, output of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions with ditch runoff in the forests on drained peat soil exceeds many times the input of the substances with precipitation water. Cycle of biogenous elements in drained forests in connection with hydro-ecology evidences that the ecosystem makes rational use of nutrient stores for the timber increment formation.

12. In spite of a large dose of wood-ash application – 50 t ha⁻¹, it has not caused recently any significant increase of biogenous elements or pH value increase in groundwater. The element concentrations are below the values specified in the water quality requirements.

Recommendations

1. Having regard to the species and biotope protection requirements as well as drainage ditch distances determined for each forest type, forest hydro-technical drainage as a forest management measure increasing the forest productivity shall be further continued in relevant forest site types in Latvia.
2. Inventory shall be carried out in the existing or potential forest drainage objects at the territory of the country with all-round evaluation of necessity of new drainage or old drainage system restoration for each particular territory.
3. Wood-ash application is recommended in the practical forest management as ecologically harmless for drained forests with peat soil at the seasoning stand age, which in many researches has been significant for considerable improvement of low-productive forest stand capacity.