

RĒZEKNES AUGSTSKOLA
Inženieru fakultāte

Edgars ČUBARS

Doktora studiju programmas „Vides Inženierzinātne” doktorants

**NIEDRU PRODUKTIVITĀTI UN BIOMASAS
ĪPAŠĪBAS IETEKMĒJOŠO FAKTORU IZPĒTE UN
TO IZMANTOŠANAS ENERĢIJAS IEGUVEI
PAMATOJUMS**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
Dr. habil. geol., profesors
G.NOVIKS

Rēzekne 2014

UDK 662.64+62-189.2+621.3(043)

Ču 026

Čubars E. Niedru produktivitāti un biomasas
īpašības ietekmējošo faktoru izpēte un to
izmantošanas enerģijas ieguvei pamatojums.
Promocijas darba kopsavilkums. – Rēzekne: RA,
2014.- 51 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Vides aizsardzības un
siltuma sistēmu institūta 2013.gada 24.oktobra
lēmumu, protokols Nr.39

© Edgars Čubars, 2014
ISBN 978-9934-507-54-0

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA VIDES INŽENIERZINĀTNĒ IEGŪŠANAI RĒZEKNES AUGSTSKOLĀ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2014. g. 6. martā, plkst. 14.00 Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, 21. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Docents, Dr. sc. ing. **Aivars Žandeckis**, Rīgas Tehniskā universitāte
Profesors, Dr. sc. ing. **Ritvars Sudārs**, Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Profesors, Dr. sc. ing. **Andres Siirde**, Tallinas Tehnoloģiju Universitāte

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Edgars Čubars.....

Datums: 06.03.2014.

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 3 nodaļas, secinājumus un rekomendācijas, literatūras sarakstu, 23 tabulas, 58 attēlus un 48 pielikumus, kopā 114 lappuses (neskaitot pielikumus). Literatūras sarakstā ir 175 nosaukumi.

Promocijas darbs izstrādāts Rēzeknes augstskolas Inženieru fakultātē laika posmā no 2009. līdz 2013.gadam ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts doktora studiju programmu īstenošanai Rēzeknes Augstskolā”

Nr. 2009/0161/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/007 un „Atbalsts doktora studiju programmu īstenošanai Rēzeknes Augstskolā 2.kārtā” Nr.2011/0057/1DP/1.1.2.1.2/11/IPIA/VIAA/005.



EIROPAS SAVIENĪBA

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



SATURS

IEVADS.....	5
DARBA APROBĀCIJA.....	7
DARBA STRUKTŪRA UN APJOMS.....	9
1.PĒTĪJUMA APSTĀKĻI UN METODIKA.....	11
2.PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN ANALĪZE.....	14
2.1. Pieejamie niedru apjomi Latvijā un to energopotenciāls.....	14
2.2. Niedru audžu dinamikas analīze.....	16
2.3. Niedru audžu raksturparametri un produktivitāte....	17
2.4. Niedru siltumtehnisko īpašību un to ietekmējošo faktoru izvērtējums.....	25
2.5. Smago metālu saturs niedru sausnā.....	32
2.6. Latgales reģiona niedru kadastra veidošana.....	40
2.7. Optimālo niedru izmantošanas modeļu izstrāde.....	42
SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS.....	46
IZMANTOTO LITERATŪRAS AVOTU SARAKSTS.....	49

IEVADS

Līdz pat šim brīdim ūdens augu biomasas potenciāls Latvijā, kā enerģijas resurss nav ņemts vērā. Šo augu kā enerģijas avota izmantošana radītu jaunas darbavietas, samazinātu fosilo energoresursu patēriņu, kā arī spētu risināt dažādas vides aizsardzības problēmas.

Viens no augiem, ko Latvijas apstākļos varētu izmantot enerģijas iegūšanai ir dabiskajās un mākslīgajās ūdenstilpnēs augošās niedres (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud.) (Čubars, 2008; Enerģētisko..., 2007; Kronbergs, 2009).

Niedres ir viens no visizplatītākajiem ūdens augiem, tās aug gandrīz visās ūdenstilpnēs Latvijā.

Pašreiz tās tiek izmantotas nelielos apjomos būvniecības vajadzībām, taču pieaugot fosilo energoresursu cenām, un piesārņojumam, ko rada fosilo resursu izmantošana, pieaug interese par vietējās biomasas izmantošanas iespējām energoapgādē. Līdz ar to aktualizējas jautājums par racionālu niedru resursu izmantošanu.

Viens no vides aizsardzības svarīgākajiem ieguvumiem novācot niedres, papildus fosilo energoresursu aizstāšanai ar AER, ir dabas ūdeņu piesārņojuma ar slāpekļa un fosfora savienojumiem līmeņa samazinājums. Tāpat niedres labi asimilē smagos metālus (Ali et al., 2002; Grisey et al., 2012), līdz ar to var uzskatīt, ka niedru ieguve sekmēs smago metālu aizvākšanu no ūdenstilpnēm. Nav zināms, vai niedres ir piemērotas enerģijas ražošanai. Niedru platības, pieejamie biomasas apjomi, energopotenciāls un enerģētiskās īpašības Latvijā līdz šim nav izpētītas, kas kavē to ieguves un pārstrādes attīstību. Lai veiktu ilgtspējīgu niedru kā kurināmā izmantošanu, jāizvērtē dažādu faktoru ietekme uz niedru īpašībām un produktivitāti, kas ļaus novērtēt ieguvei pieejamos niedru apjomus un to īpašības, kā arī novērtēt niedru piemērotību enerģijas ieguvei.

Promocijas darba zinātniskais mērķis: izpētīt niedru audžu izplatību, dinamiku, produktivitāti, niedru biomasas enerģētiskās īpašības un to ietekmējošos faktorus Latvijas dabiskajās un mākslīgajās ūdenstilpnēs.

Promocijas darba praktiskais mērķis: balstoties uz niedru izplatības un īpašību pētījumiem noteikt prioritārās niedru ieguves zonas Latvijā, sastādīt niedru kadastru nozīmīgākajām niedru ieguves vietām Latgales reģionā, kā arī izstrādāt optimālos niedru ieguves un pārstrādes modeļus

Latvijas apstākļiem, lai veicinātu ar niedru ieguvi un pārstrādi saistītu uzņēmumu radīšanu un attīstību.

Darba mērķa sasniegšanai izvirzīti un risināti sekojoši darba uzdevumi:

1. izpētīt niedru audžu izplatību Latvijas dabiskajās un mākslīgajās ūdenstilpnēs;
2. izpētīt potenciāli iegūstamos niedru biomasas apjomus un energopotenciālu Latvijā un noteikt prioritārās niedru ieguves zonas;
3. veikt niedru audžu dinamikas analīzi Latgales reģiona nozīmīgākajās niedru ieguves vietās;
4. izpētīt niedru audžu struktūru raksturojošos parametrus, produktivitāti un enerģētiskās īpašības, kā arī dažādu faktoru ietekmi uz tām;
5. izpētīt smago metālu saturu niedru biomasā un izvērtēt to ietekmi uz niedru biomasas piemērotību enerģijas ieguvei;
6. izstrādāt kritērijus niedru resursu kadastra veidošanai un sastādīt niedru resursu kadastru Latgales reģiona nozīmīgākajām niedru ieguves vietām;
7. izstrādāt optimālos modeļus un sniegt rekomendācijas niedru kā enerģijas resursa izmantošanai Latvijā.

Pētījuma novitāte un galvenie rezultāti:

1. pirmo reizi veikta kompleksa Latvijas ezeros un dīķsaimniecībās augošo niedru audžu platību uzskaitē, uz kuras pamata noteiktas prioritārās niedru ieguves zonas un biomasas krājumi tajās;
2. pirmo reizi Latvijā veikts komplekss niedru biomasas energopotenciāla izvērtējums;
3. izpētīta niedru audžu dinamika Latgales reģiona lielākajos ezeros, līdz šim Latvijā pētījumi par niedru audžu dinamiku nav veikti;
4. izpētītas Latgales reģiona lielākajos ezeros augošo niedru siltumtehnikās un audzes raksturojošās īpašības un smago metālu saturs niedru biomasā;
5. izpētīta dažādu faktoru ietekme uz niedru biomasas siltumtehnikajām īpašībām, smago metālu saturu biomasā un produktivitāti lielākajās Latgales reģiona ūdenstilpnēs;
6. izstrādāti kritēriji un apkopoti niedru biomasu raksturojošie parametri niedru kadastra veidošanai;
7. izveidots Latgales reģiona nozīmīgāko ieguves vietu niedru resursu kadastrs un izveidoti optimālie niedru izmantošanas modeļi Latvijai.

Aizstāvēšanai izvirzāmās tēzes:

1. Niedres ir ilgtspējīgs resurss, niedru platības Latvijā ar katru gadu palielinās;
2. Niedru produktivitāte atkarīga no barības vielu daudzuma ūdenstilpnēs un to ieguves intensitātes;
3. Galvenie faktori, kas ietekmē niedru biomasas sadegšanas siltumu ir mitruma un pelnu saturs;
4. Latvijas ūdenstilpnēs augošās niedres ir piemērotas enerģijas ieguvei.

DARBA APROBĀCIJA

Pētījuma rezultāti apkopoti un atspoguļoti 12 publikācijās latviešu, angļu un krievu valodā, tai skaitā starptautisko zinātnisko konferenču, simpoziju un zinātnisko semināru recenzētas starptautiskās publikācijas.

Starptautiskas publikācijas recenzējamās izdevumos.

1. Čubars E., Noviks G.(2009) Lubāna ezera niedru resursu izvērtēšana un to izmantošanas enerģijas ieguvei pamatojums. *Vide.Tehnoloģija.Resursi VII starptautiskās zinātniski praktiskās konferences materiāli*, 66.-74. lpp. ISSN-1691-5402, ISBN 978-9984-44-027-9. Pieejams:http://zdb.ru.lv/conferences/1/I_66-73_Chubars.pdf
2. Čubars E.(2010) Latgales reģiona niedru resursu izmantošanas perspektīvu analīze. *Latgales tautsaimniecības pētījumi. Sociālo zinātņu žurnāls Nr.1(2)*, Rēzeknes Augstskola, Rēzekne 2010., 68.-76.lpp. ISSN-1691-5828, ISBN-978-9984-44-040-8.
3. Čubars E., Poiša L., Adamovičs A., Noviks G. (2011) Analysis of Chemical Elements, Lignin and Ash Content in Common Reed and Reed Canarygrass Grown in Ecosystems in Lakes of Eastern Latvia for Bioenergy Production. *Journal of International Scientific Publications: Ecology&Safety*, Volume 5, Part 1, pp. 171 – 181. (on CD) ISSN 1313-2563, Pieejams: <http://www.science-journals.eu>.
4. Čubars E., Noviks G.(2011) Analysis of reed resource dynamics in water bodies of eastern Latvia. *Proceedings of the 8th international scientific and practical conference Environment.Tehnology.Resources, Rēzeknes Augstskola* p.252-262, ISSN-1691-5402, ISBN 978-9984-44-070-5, Pieejams: http://zdb.ru.lv/conferences/4/VTR8_I_252.pdf.
5. Čubars E., Noviks G.(2012) Evaluation of reed resources in Kurzeme region In Latvia, In: *Proceedings of the international scientific conference*

Renewable energy and energy efficiency, Latvia university of Agriculture, Jelgava, p.179-184. ISBN 978-9984-48-070-1.

6. Čubars E., Noviks G.(2013)Influence of diferent factors on productivity of reed growths. *Proceedings of the 9th international scientific and practical conference Environment.Tehnology.Resources,Rēzeknes Augstskola p.106-111, ISSN 1691-5402.*

Starptautiskas publikācijas recenzējamās izdevumos, kas iekļautas Scopus datubāzē.

1. Čubars E., Noviks G.(2012)Evaluation of reed resources in Latvia and analysis of its use for energy production. In:Journal of Environmental Biology, Volume 33, Number 2, pp.387-392. ISSN:0254-8704.

Citas starptautiskas publikācijas.

1. Čubars E.(2010) Niedru resursu energopotenciāla un telpiskā izvietojuma izpēte ilgtspējīgai bioenerģijas ražošanai un infrastruktūras attīstībai Latgales reģionā. Scientific Journal of Riga Technical University, Sustainable special development, Vol.1. p.67-71, ISSN 1691-6174 Pieejams:

<https://ortus.rtu.lv/science/lv/publications/8939/fulltext.pdf>.

2. Čubars E., Noviks G.(2010) Evaluation of Reed resources in Latgale Region and analysis of its use for energy production. In: *4th International Conference „Environmental Science and Education in Latvia and Europe” Conference Proceedings. From Green Projects to Green Society.* Latvia University of Agriculture, pp. 58-59. ISBN 978-9984-48-035-0 Pieejams:<http://agris.fao.org/>.

3. Poiša L., Čubars E., Adamovičs A., Noviks G.(2011) Оценка факторов, влияющих на энергетические параметры в двукисточнике тростниковом (*Phalaris arundinacea* L.) и в тростнике (*Phragmites Australis*) в Латвии. In: *The Proceedings of the 7th International Conference on BIOMASS FOR ENERGY, September 20-21, 2011, Kyev (on CD).*

4. Čubars E., Noviks G.(2011) Analysis of reed resource Dynamics in water bodies of eastern Latvia. In: Scientific proceedings of JALARE workshop on renewable energy, Rēzeknes Augstskola, Rēzekne, Latvia pp.86.-96.

Publikācijas starptautiskos projektos.

1. Čubars E.(2012) Niedru platību un potenciālās biomasas analīze Latvijas ezeros, COFREEN Reed for bioenergy and construction.

Pieejams:http://www.cofreen.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=57%3Aanalysis-of-reed-covered-surface-and-of-potential-biomass-in-latvias-lakes&catid=11%3Apublications&Itemid=11&lang=lv.

Par zinātniskā darba rezultātiem sniegti 9 mutiski ziņojumi un 1 stenda ziņojums un veikta rezultātu apspriešana starptautiskās zinātniskās konferencēs.

Pētījuma rezultāti ir iekļauti Izglītības un Zinātnes ministrijas projektā "Vides aizsardzības un vides tehnoloģiju attīstības dinamikas izpēte Latgales uzņēmumos" un SIA „Vides projekti” koordinētajā Latvijas, Igaunijas un Somijas kopprojektā COFREEN- „Niedru biomasas izmantošanas koncepti enerģijas iegūšanai un būvniecībai" Pieejams: <http://www.cofreen.eu/>.

DARBA STRUKTŪRA UN APJOMS

Promocijas darba apjoms 114 lpp (neskaitot pielikumus), darbs satur 23 tabulas, 58 attēlus un 48 pielikumus. Promocijas darbā izmantoti 175 informācijas avoti.

Promocijas darba strukturējums.

Ievads. Pamatota darba veikšanas nepieciešamība, formulēti darba mērķi un uzdevumi, izvērtēta pētījuma novitāte, kā arī sniegta informācija par veikto pētījumu aprobāciju zinātniskajās konferencēs un autora publikācijām, kurās atspoguļoti darba rezultāti.

Literatūras apskats sakārtots 6 apakšnodalās, kurās atspoguļoti jaunāko zinātnisko pētījumu rezultāti par niedru audžu enerģētiskajām un bioloģiskajām īpašībām, piemērotību enerģijas ražošanai un izvērtēta niedru ieguves ietekme uz apkārtējo vidi.

Materiāli un metodes. Parādīta lauka pētījumu shēma un varianti, aprakstīti ūdenstilpņu, kuros veikti lauka pētījumi, fiziogēogrāfiskie rādītāji. Aprakstītas laboratorijas pētījumos un iegūto datu matemātiskajā apstrādē pielietotās metodes.

Rezultāti un diskusija. Analizēti autora pētījumu rezultāti par dabiski augošo niedru audžu raksturojošajiem parametriem, enerģētiskajām īpašībām, izplatību un dinamiku Latvijas dabiskajās un mākslīgajās ūdenstilpnēs, pamatota niedru piemērotība enerģijas ieguvei. Analizēts smago metālu saturs niedru biomasā. Izvērtēts niedru biomasas energopotenciāls Latvijā. Balstoties uz pētījumu rezultātiem noteiktas prioritārās niedru ieguves zonas Latvijā, noteiktas likumsakarības, pēc kurām var noteikt niedru audžu produktivitāti, sastādīts niedru kadastrs Latgales

reģiona nozīmīgākajām niedru ieguves vietām un izstrādāti Latvijas apstākļiem optimālie modeļi niedru izmantošanai.

Secinājumi un rekomendācijas. Secinājumi sniedz atbildes uz izvirzītajiem promocijas darba uzdevumiem. Tiek sniegtas rekomendācijas niedru izmantošanai Latvijā, kā arī pamatoti tālāko nepieciešamo pētījumu virzieni racionālai niedru izmantošanai.

Literatūras sarakstā dots darbā izmantoto informācijas avotu latviešu, angļu un krievu valodā bibliogrāfiskais apraksts.

Pielikumi. Darbam pievienoti pielikumi, kuros atspoguļoti detalizēti niedru audžu un niedru biomasas enerģētisko īpašību pētījumu rezultāti. Pievienotas niedru audžu izvietojuma kartes nozīmīgākajām Latvijas niedru ieguves vietām. Pievienoti Latgales reģiona 11 nozīmīgāko niedru ieguves vietu kadastra dati.

1. PĒTĪJUMA APSTĀKĻI UN METODIKA

Niedru izplatības pētījumi veikti visās Latvijas dabiskajās un mākslīgajās ūdenstilpnēs, kuru spoguļa laukuma platība pārsniedz 100 ha. Par nozīmīgām niedru ieguvei uzskatītas ūdenstilpnes, kuru aizauguma pakāpe ar niedrēm ir virs 3% no spoguļa laukuma platības, tās ietvertas kopējā Latvijas niedru energopotenciāla aprēķinā.

Pētījumā niedru platību noteikšana veikta, izmantojot distancētās zondēšanas metodi, datorprogrammā Arc Map 9,2. Mērīšanas metode balstās uz ortofoto attēlu analīzi, analizēti ortofoto attēli bez speciālu filtru pielietošanas. Mērīšanas metode balstās uz ortofoto attēlu analīzi. Pie kopējām niedru platībām, netika pieskaitītas niedru platības, kas ir aizaugušas ar krūmiem, taču tika ietvertas platības, kurās aug meldri.

Niedru dinamikas pētījumi veikti 11 Latgales reģiona ūdenstilpnēs.

Lai varētu skaitliski izteikt niedru audžu izmaiņas laika gaitā katrā konkrētajā ūdenstilpnē ieviesti lielumi Ezera aizaugšanas intensitāte I_{aiz} , un Niedru audžu pieaugums ūdenstilpnē I_{ud} .

Niedru audžu pieaugums ūdenstilpnē I_{ud} izteikts $ha \cdot gads^{-1}$, kas parāda par cik ha vidēji attiecīgajā laika periodā izmainījusies niedru audžu platība gada laikā katrā konkrētā ūdenstilpnē

$$I_{ud} = \frac{S_b - S_s}{n}, [ha \cdot gads^{-1}] \quad (1.)$$

kur, S_b - Aprēķinātais niedru laukums beigu gadā;

S_s - Aprēķinātais niedru laukums sākuma gadā;

n - gadu skaits periodā.

Ūdenstilpnes aizaugšanas Intensitāte I_{aiz} raksturo niedru platību izmaiņas, kas notiek ūdenstilpnēs laika gaitā. Ezera aizaugšanas intensitāte norāda par cik % no ūdenstilpnes kopējā laukuma gadā niedres izplešas vai samazinās:

$$I_{aiz} = \frac{(S_b - S_s) * 100}{n * S_{sp}}, [% \cdot gads^{-1}] \quad (2.)$$

kur, S_b - Aprēķinātais niedru laukums beigu gadā;

S_s - Aprēķinātais niedru laukums sākuma gadā;

n - gadu skaits analizējamajā periodā;

S_{sp} - ūdenstilpnes spoguļa laukuma platība.

Lauka pētījumi veikti 11 lielākajās Latgales reģiona ūdenstilpnēs, kurās konstatētas niedru audzes vismaz 50 ha platībā- Lubānas ez., Kvāpānu dīķi, Īdeņas dīķi, Rāznas ez., Cirmas ez., L.Ludzas ez., Rušonas ez., Feimaņu ez., Ciriša ez., Luknas ez. un Sīvera ez. Pētījumi veikti 2010, 2011 un 2012. gada marta mēnesī, jo martā ledus sega ir visbiezākā, kas ļauj niedres mehanizēti novākt, līdz ar to iegūtie dati var tikt izmantoti enerģijas ieguvei izmantojamo niedru biomasas īpašību raksturošanai. Katrā no pētāmajiem ezeriem, apsekojot niedrāju, tika izvēlētas četras niedru audzes, kas vizuāli pēc saviem raksturparametriem atbilst vidējam līmenim konkrētajā ūdenstilpnē. Katrā audzē pētīti divi parauglaukumi. Katrā no tiem tika noteikti sekojoši niedru produktivitāti raksturojoši parametri- niedru biezība, vidējais audžu augstums, vidējais stiebru diametrs un iegūstamais biomasas daudzums. Katrā pētāmajā gadā niedru parauglaukumi izveidoti vienās un tajās pašās audzēs, kas ļauj salīdzināt parametru izmaiņas pa gadiem.

Ziemā virs ledus pļautu niedru biomasas iznākums M_{niedru} . Ar tiešo mērīšanas metodi dabā tika noteikts niedru biomasas daudzums, ko var iegūt ezeros un dīķsaimniecībās uz 1 m^2 niedru audzes. Aprēķinos tiek ietverta niedru daļa, kas ziemā atrodas virs ledus. Niedru pļaušana un paraugu svēršana tika veikta 8 parauglaukumos (četrās dažādās audzēs pa 2 parauglaukumiem katrā) katrā no pētāmajiem ezeriem. Parauglaukumu platība- 25 m^2 . Iegūtie rezultāti veicot produktivitātes ietekmējošo faktoru analīzi pārrēķināti uz sausu stāvokli- M_{saus} .

Niedru augstums H_{niedru} noteikts ar mērlentes palīdzību dabas apstākļos. Katrā ūdenstilpnē parauglaukumos veikta 1 m^2 nopļauto niedru garumu uzmērīšana un aprēķināts vidējais niedru audzes augstums.

Niedru diametrs D_{niedru} noteikts ar bīdmēru dabas apstākļos. Katrā ūdenstilpnē parauglaukumos, kas tika pļauti ar mērķi noteikt biomasas iznākumu tika veikta 1 m^2 nopļauto niedru diametru uzmērīšana. Diametrs mērīts 10 cm virs ledus. Iegūtie rezultāti matemātiski apstrādāti, aprēķinot vidējo niedru diametru katrā parauglaukumā.

Niedru biezība B_{niedru} noteikta katrā ūdenstilpnē, parauglaukumos, kas tika pļauti ar mērķi noteikt biomasas iznākumu tika veikta 1 m^2 nopļauto niedru stiebru uzskaitē. No katra parauglaukuma tika paņemts aptuveni 1 kg niedru biomasas, kas tika izmantots niedru siltumtehniko parametru noteikšanai laboratorijas apstākļos.

Savāktie niedru paraugi no 8 parauglaukumiem katrā ezerā tika apvienoti izveidojot vidējoto paraugu. Niedru paraugi novietoti nojumē uzglabāšanai, papildus žāvēšana netika veikta. Niedres sasmalcinātas, un

laboratoriskiem pētījumiem paņemts 1 kg sasmalcināta vidējotā parauga. Katram smalcinātajam vidējotajam paraugam noteikti sekojoši siltumtehniekie parametri: oglekļa saturs biomasā, relatīvā mitruma saturs, zemākais sadegšanas siltums, lignīna saturs biomasā, gaistošo vielu saturs biomasā, pelnu saturs, kā arī sekojošu metālu saturs biomasā – kobalts (Co), varš (Cu), kadmijs (Cd), niķelis (Ni), hroms (Cr), dzelzs (Fe), mangāns (Mn) un svins (Pb).

Paraugi laboratoriskiem pētījumiem sagatavoti pēc standartmetodes CEN/TS 14780.

Mitruma saturs niedru biomasā noteikts pēc standartmetodes CEN/TS 14774-2.

Pelnu saturs noteikšanai pielietota standartmetode CEN/TS 14775.

Oglekļa saturs biomasā noteikts ar oglekļa/ sēra analizatoru *ELTRA CS-2000*, kas darbojas uz hromotogrāfiskās analīzes principiem.

Niedru biomasas **siltumspēja** noteikta ar kolorimetrisko termometru Paar 6772, pie dabiskā mitruma satura 10-12 %.

Lignīna saturs niedru biomasā noteikts pēc Klāsona metodes (Koksnes..., 2008).

Gaistošo vielu saturs niedru biomasā noteikts pēc sekojošas metodikas: Iepriekš nosvērtā tīģelī, iesver analītisko paraugu ar masu $1 \pm 0,1$ g, tīģelus aizver ar vāciņu un ar tīģelknaiblēm ievieto mufelkrāsni ar iestādītu temperatūru 600°C .

Pēc 7 min. tīģelus izņem no krāsns un atdzesē gaisā. Pēc tam noņem vāciņus, tīģelus ievieto eskalatorā, kur paraugi atdziest līdz telpas temperatūrai, tīģelus nosver un atbrīvo no negaistošā atlikuma. Veic attiecīgos aprēķinus.

Lai noteiktu **smago metālu saturu biomasā veikta** paraugu mineralizācija pēc attiecīgās metodikas: niedru biomasa sasmalcināta ar dzirnavām līdz daļiņu izmēram $<150 \mu\text{m}$, iesvērts 1,5g sausa biomasas parauga. Tad pievienota 15 ml koncentrēta HNO_3 , paraugs karsēts 95°C temperatūrā 2 stundas. Atdzisušais paraugs filtrēts caur filtru, kas iepriekš mazgāts ar 0,5% HNO_3 un atšķaidīts ar dejonizētu ūdeni līdz 65 ml. Metālu saturs šķīdumā noteikts ar optisko plazmas spektrometru Perkin Elmer Optima 2100 DV.

Izmēģinājumos un laboratorijas analīzēs iegūto datu apstrādei tika izmantotas aprakstošās statistikas, dispersijas analīzes, korelācijas, lineārās un nelineārās regresijas analīzes metodes (Доспехов, 1985; Arhipova, Bāliņa, 2006; Douglas et al., 2003). Datu un sakarību vizualizācijai autors izmantoja attēlus un tabulas.

2. PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN ANALĪZE

2.1. Pieejamie niedru apjomi Latvijā un to energopotenciāls

Kopumā tika izanalizētas niedru platības 129 dabiskajās un mākslīgajās ūdenstilpnēs Latvijā. Atbilstoši pētījumā noteiktajiem kritērijiem - ūdenstilpnes spoguļa laukums virs 100 ha, un ezera aizauguma pakāpe ar niedrēm virs 3 %, par nozīmīgiem niedru ieguvei Latvijā atzīstamas 116 dabiskās un mākslīgās ūdenstilpnes.

Kopējā 116 nozīmīgajās Latvijas dabiskajās un mākslīgajās ūdenstilpnēs konstatētā niedru platība sastāda ap 13 400 ha. Citu autoru pētījumi liecina, ka visas niedru platības 100 % novākt katru gadu nav ieteicams, jo tas izraisa izmaiņas niedru audžu struktūrā un var atstāt negatīvu ietekmi uz audzēs mītošo dzīvo organismu populācijām (Reed..., 2007; Valkama et al, 2008). Lai neradītu negatīvu ietekmi uz niedru audzēm un tajās mītošajiem dzīvajiem organismiem, praktiski, ik gadu var iegūt ne vairāk kā 50 % no kopējiem apjomiem (Enerģētisko..., 2007; Reed..., 2007). Kopumā Latvijā var izdalīt 13 prioritārās niedru ieguves un pārstrādes zonas (1. tabula), kurās ikgadējais pieejamais sausnas daudzums atkarībā no konkrētās zonas, sastāda no 200-6700 tonnām, un praktiski ieguvei pieejamā niedru platība no 55-1600 ha

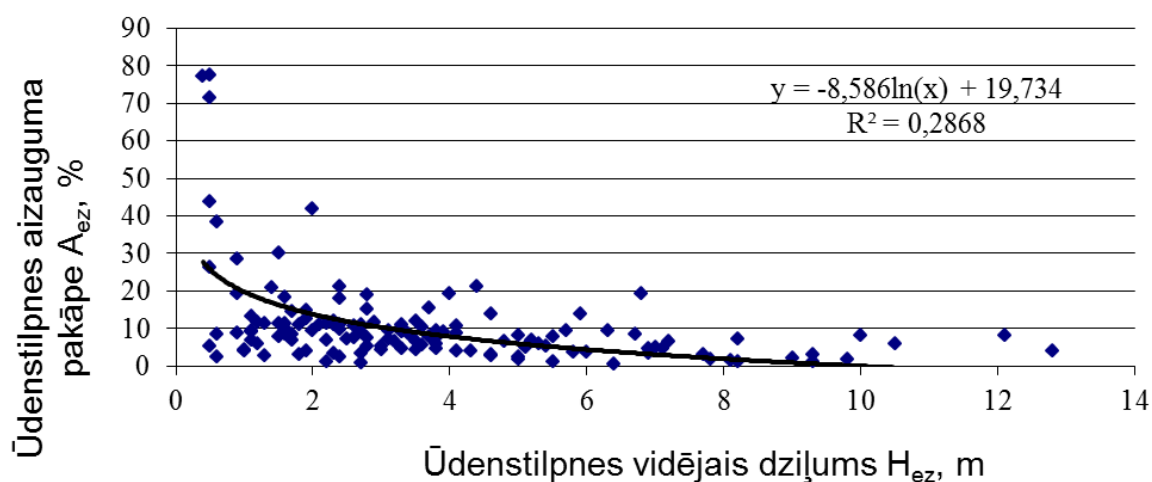
Praktiski izmantojamās niedru audžu platības Latvijā sastāda ap 6 460 ha gadā. Iegūstamais biomasas daudzums sastāda ap 32000 t niedru sausnas gadā. Vidējais niedru sausnas sadegšanas siltums sastāda $16,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, kas sastāda $4,68 \text{ MWh} \cdot \text{t}^{-1}$. Reālais niedru biomasas energopotenciāls Latvijā sastāda ap 150 GWh siltuma enerģijas gadā (ap 0,55 PJ).

Vislielākā aizauguma pakāpe ir Latvijas ūdenstilpnēs ar salīdzinoši nelielu vidējo dziļumu (līdz 2m). Tieši šie ezeri pakļauti pilnīgas aizaugšanas riskam. Konstatēta būtiska ($p < 0,05$) negatīva korelācija starp ūdenstilpnes aizauguma pakāpi un vidējo dziļumu (korelācijas koeficients - 0,39, $n=129$). Sakarību raksturo būtisks regresijas vienādojums ($p < 0,05$) (1.attēls).

Pieejamie niedru apjomi un niedru platības prioritārajās niedru
ieguves zonās Latvijā

N.p.k.	Potenciālā niedru ieguves zona	Praktiski pieejamās niedru platības ha*gads ⁻¹	Praktiski pieejamie niedru sausnas apjomi t*gads ⁻¹
1	Engures ezers	1600	6800
2	Papes ezers	1040	5800
3	Lubānas bloks	570	3800
4	Liepājas un Tosmares ezeri	620	3200
5	Rušonas bloks	365	2000
6	Burtnieku ezers	220	1300
7	Babītes ezers	250	1200
8	Kaņiera ezers	215	1100
9	Rāznas ezers	145	900
10	Ludzas bloks	100	550
11	Ķīšezers	85	460
12	Lobes ezers	75	440
13	Lielauces ezers	55	200
14	Kopā	5340	27750

Pieaugot ūdenstilpnes vidējam dziļumam, aizauguma pakāpe samazinās.

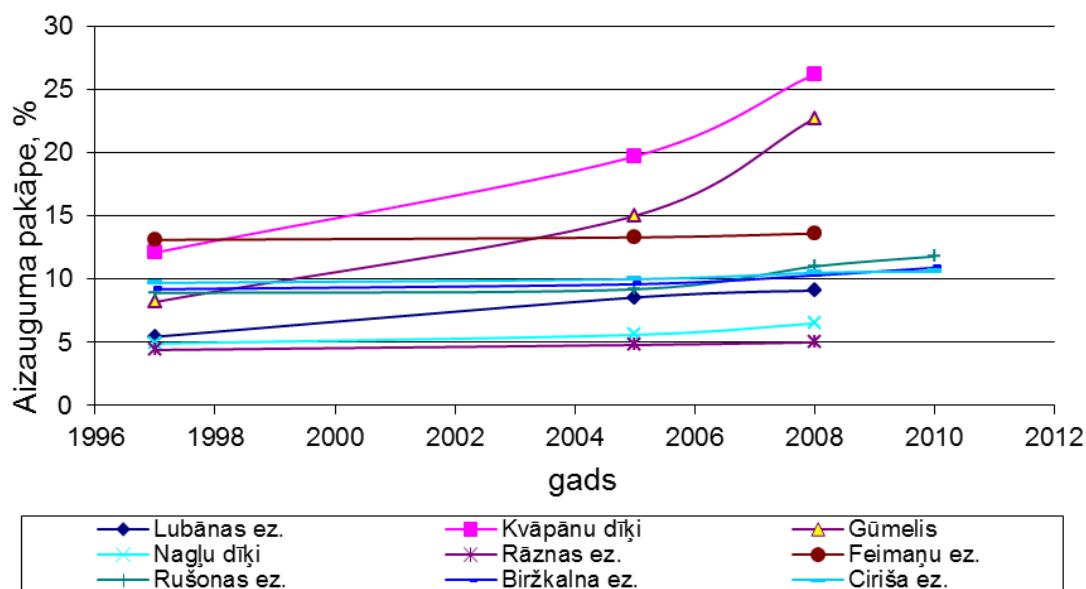


1. attēls. Ūdenstilpnes aizauguma pakāpes izmaiņas atkarībā no vidējā dziļuma

2.2. Niedru audžu dinamikas analīze

Niedru invāzijas intensitāte un platības Latvijā līdz šim nav izpētītas, nav informācijas par niedru audžu dinamiku. Lai varētu izvērtēt niedru kā atjaunojamā energoresursa apjomus un krājumu attīstības tendences, tika veikta niedru audžu dinamikas analīze.

Niedru audžu platības Latvijas ezeros un dīķsaimniecībās ar katru gadu palielinās, ezeri un dīķi pakāpeniski aizaug ar niedrēm. Katrā ūdenstilpnē aizaugšanas intensitāte ir dažāda. Pētāmajos ezeros tā variēja no 0 līdz $1,32\% \cdot \text{gads}^{-1}$, tātad niedres ir ilgtspējīgs resurss, niedru platībām ir tendence palielināties. Seklajām ūdenstilpnēm ar vidējo dziļumu ap 0,5 m raksturīgi, ka atsevišķas niedru audzes un puduri laika gaitā izplešoties apvienojas veidojot vienlaidu niedru platības. Ūdenstilpņu aizaugšanas intensitāte ir atkarīga no ūdenstilpnes vidējā dziļuma - pieaugot ūdenstilpnes vidējam dziļumam, ūdenstilpnes aizaugšanas intensitāte samazinās. Ikgadējais niedru audžu pieaugums atkarīgs no ūdenstilpnes spoguļa laukuma platības, jo lielāka ūdenstilpne, jo lielāks ikgadējais niedru audžu laukuma pieaugums. Aizaugšanas ātrums katrā ūdenstilpnē ir atšķirīgs (2.attēls).



2. attēls. Aizauguma pakāpes izmaiņas pētāmajās ūdenstilpnēs atkarībā no laika

2.3. Niedru audžu raksturparametri un produktivitāte

Viens no galvenajiem parametriem, kas raksturo niedru piemērotību enerģijas ražošanai ir produktivitāte. Produktivitāte tiešā mērā saistīta ar niedru audzes raksturojošiem parametriem- stiebru vidējo garumu, vidējo diametru un niedru audžu biezību. Niedru audžu produktivitāti var noteikt eksperimentālā ceļā, katrā ezerā veicot lauka pētījumus, taču tas ir darbietilpīgs process. Lai nodrošinātu racionālu un ilgtspējīgu enerģijas ražošanu no niedru biomasas, jāizvērtē resursu pieejamība ilgtermiņā. Lai varētu novērtēt niedru produktivitāti, un prognozēt tās izmaiņas ir jānoskaidro to ietekmējošie faktori.

Pētījumā tika analizēta dažādu faktoru ietekme uz niedru produktivitāti. Niedru produktivitāti var ietekmēt plašs faktoru spektrs, lai varētu veikt to būtiskuma un ietekmes intensitātes novērtēšanu faktori tika apvienoti četrās galvenajās grupās:

1. **Ūdenstilpnes faktors**- komplekss katru konkrēto ūdenstilpni raksturojošs apstākļu kopums, kas iekļauj sevī individuālos niedru augšanas apstākļus konkrētajā ūdenstilpnē. Citu autoru darbos (Торохова и др., 2009) minēts, ka niedres var kalpot par indikatoru ūdeņu piesārņojuma līmeņa noteikšanai, niedres ir biežākas un augstākas vietās, kur ūdeņos ir augstāks nitrītu, nitrātu un citu slāpekļa savienojumu saturs. Tātad viens no galvenajiem niedru produktivitātes atšķirības dažādās ūdenstilpnēs ietekmējošajiem faktoriem varētu būt slāpekļa (un citu barības vielu) savienojumu saturs ūdeņos un sedimentos.
2. **Ieguves gads** raksturo klimatisko apstākļu ietekmi uz niedru audžu produktivitāti- temperatūra augšanas fāzē, nokrišņu daudzums, vēja iedarbība u.t.t.
3. **Ieguves vieta**- raksturo niedru augšanas atšķirības vienas ūdenstilpnes robežās- dažāda niedru augšanas pamatne, ūdens dziļums dažādās vietās, lauksaimniecības zemju klātbūtne, upju ietekas un iztekas u.t.t.
4. **Pļaušana**- raksturo niedru ieguves ietekmi uz niedru audzēm un to produktivitāti. Pļaušana vērtēta 2 periodos, atkarībā no pļaušanas intensitātes - 1.Īstermiņa pļaušana (1-2 gadi), 2. Ilgtermiņa pļaušana (vairāk kā 10 gadi), pļaujot niedres ziemas periodā virs ledus.

Niedru audžu produktivitāti noteicošo faktoru ietekmes īpatsvars un būtiskums analizēts 6 niedru ieguvei nozīmīgākajos Latgales reģiona

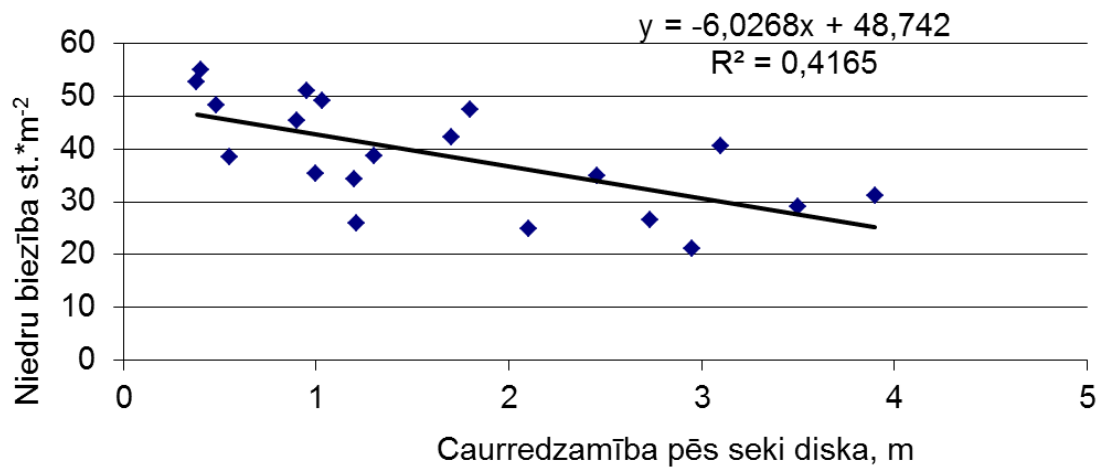
ezeros un mākslīgajās ūdenstilpnēs- Lubānas ezers, Kvāpānu dīķi, Īdeņas dīķi, Rušonas ezers, Rāznas ezers un Sīvera ezers. Analizēti trīs gadu (2010.g.,2011.g., un 2012.g.) lauka pētījumu rezultāti, veicot trīsfaktoru dispersijas analīzi. Pļaušanas ietekme izvērtēta, balstoties uz pētījumu rezultātiem Lubānas un Papes ezeros. Lubānas ezerā dati iegūti no parauglaukumiem, kas pļauti 1 un 2 gadus (īstermiņa pļaušana), bet Papes ezerā pētītas niedru audzes, kas tiek regulāri pļautas būvniecības vajadzībām vairāk kā desmit gadus (ilgtermiņa pļaušana).

Konstatēts, ka vislielākais ietekmes īpatsvars uz niedru audžu raksturparametriem un produktivitāti ir ūdenstilpnes faktoru grupai. Lai izvērtētu šo faktoru ietekmi tika veikta vidējās niedru produktivitātes un ezeru individuālo apstākļu korelācijas analīze, analīzē izmantoti produktivitātes pētījumi no 20 Latgales reģiona ūdenstilpnēm. Kā katras ūdenstilpnes raksturojošie parametri analizēti sekojošu rādītāju vidējās vērtības pēdējo desmit gadu periodā- caurredzamība pēc Seki diska, kopējā slāpekļa koncentrācija, kopējā fosfora koncentrācija ūdenī un elektrovadītspēja, kas noteikti izmantojot Latvijas ezeru datubāzē pieejamos ezeru monitoringa datus.

Niedru biežība dažādos ezeros un arī dažādās vietās vienas ūdenstilpnes ietvaros ir atšķirīga. Pētījuma rezultāti rāda, ka stiebru skaits parauglaukumos variēja robežās no 31-72 stiebriem*m⁻². Vislielāko ietekmi uz niedru biežību atstāja ūdenstilpnes faktors, tā ietekme bija būtiska (p<0,05) un ietekmes īpatsvars sastādīja 39,64 %. Klimatisko apstākļu un niedru augšanas apstākļu atšķirību vienas ūdenstilpnes robežās ietekme bija zema.

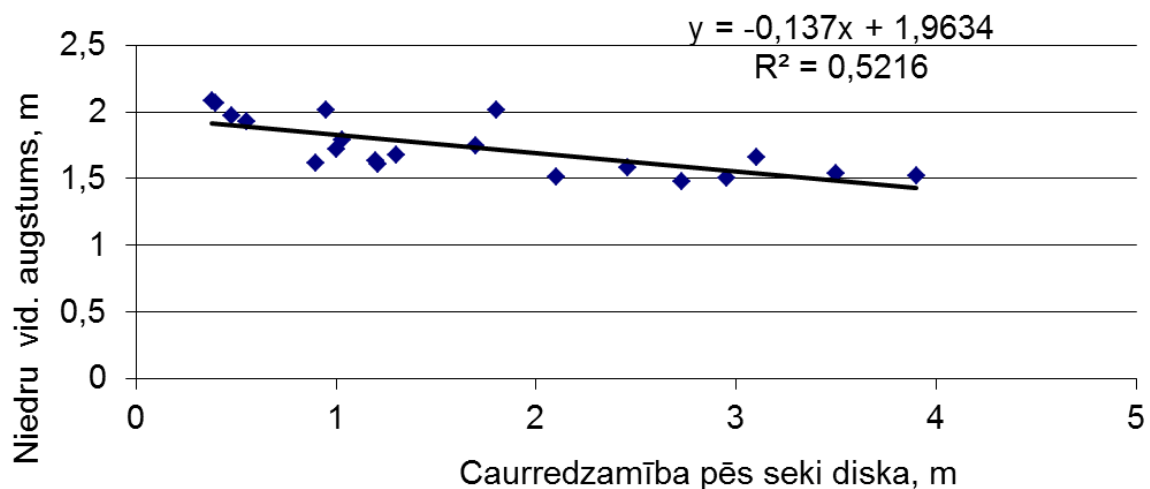
Netika konstatētas krasas stiebru skaita uz kvadrātmetru atšķirības starp iepriekš pļautām un nepļautām niedru audzēm, pļaušanas rezultātā abos gadījumos niedru biežība palielinājās par aptuveni 8%, galvenais niedru biežību ietekmējošais faktors ir individuālie niedru augšanas apstākļi katrā ūdenstilpnē.

konstatēta būtiska (p<0,05) vidēji cieša negatīva korelācija starp niedru biežību un caurredzamības pēc Seki diska rādītājiem (r=-0,65, n=20),kas raksturo kopējo piesārņojuma līmeni ūdenstilpnēs, tātad niedru biežība audzēs palielinās samazinoties caurredzamības pēc Seki diska rādītāja vērtībai. Sakarību raksturo būtisks (p<0,05) regresijas vienādojums (3.attēls).



3.att. Niedru biežība audzēs atkarībā no caurredzamības pēc Seki diska

Niedru **vidējais augstums** audzēs ir atkarīgs no barības vielu daudzuma ūdenstilpnēs. Konstatēta būtiska ($p < 0,05$) vidēji cieša, pozitīva korelācija starp vidējiem niedru augstuma rādītājiem un kopējā slāpekļa savienojumu vidējo koncentrāciju ($r = 0,69$, $n = 20$), kā arī kopējā fosfora vidējo koncentrāciju ($r = 0,60$, $n = 20$), kas liek secināt, ka niedru augstumu būtiski ietekmē slāpekļa un fosfora savienojumu daudzums ūdenstilpnes ūdeņos, kuros niedres aug. Tāpat konstatēta būtiska ($p < 0,05$) vidēji cieša negatīva korelācija starp niedru vidējo augstumu un caurredzamības pēc Seki diska rādītājiem ($r = -0,72$, $n = 20$), kas raksturo kopējo ūdenstilpnes piesārņojuma līmeni. niedru biežība audzēs palielinās samazinoties ūdens caurredzamībai pēc Seki diska. Sakarību raksturo būtisks ($p < 0,05$) regresijas vienādojums (4. attēls).

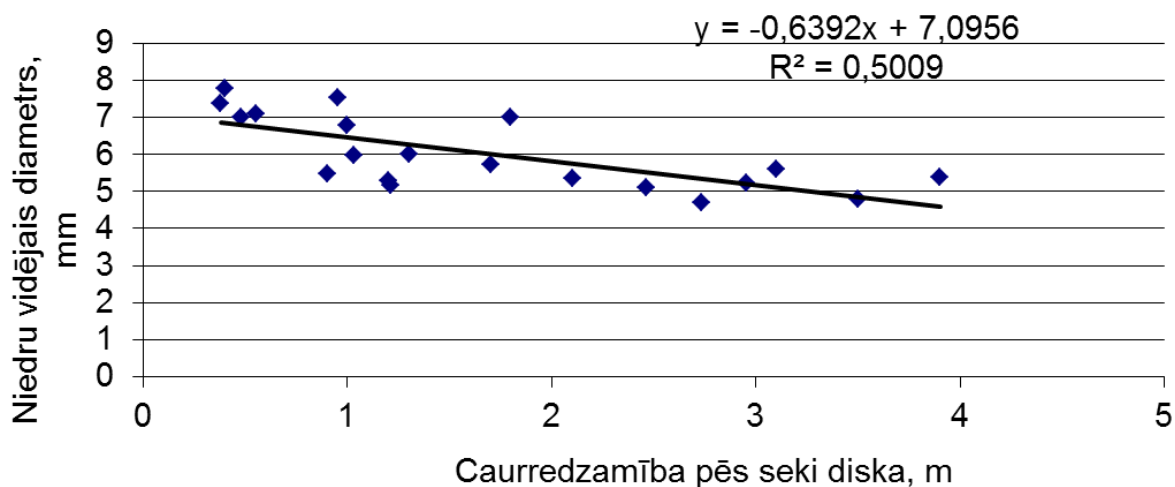


4.att. Niedru audžu vidējais augstums atkarībā no caurredzamības pēc Seki diska

Niedru stiebru diametru ietekmējošo faktoru izvērtējumam izmantotas niedru stiebru diametra vidējās vērtības audzēs. Pētījuma rezultāti rāda, ka vidējais niedru stiebru diametrs audzēs variēja robežās no 5,25-8,35 mm.

Noteicošais faktors, kas ietekmē niedru stiebru diametru līdzīgi kā augstumu un biezību ir ūdenstilpne, ar tai raksturīgajiem individuālajiem niedru augšanas apstākļiem. Klimatisko apstākļu un niedru augšanas apstākļu atšķirību vienas ūdenstilpnes robežās ietekme bija zema. Ilgtermiņa pļaušanas rezultātā niedru vidējais diametrs niedru audzēs Papes ezerā samazinājās par aptuveni 20 %.

Konstatēta būtiska ($p < 0,05$) vidēji cieša negatīva korelācija starp niedru vidējo diametru un caurredzamības pēc Seki diska rādītājiem ($r = -0,71$, $n = 20$), kas raksturo kopējo piesārņojuma līmeni ūdenstilpnēs. Niedru vidējais diametrs audzēs palielinās samazinoties ūdens caurredzamībai pēc Seki diska vērtībai. Sakarību raksturo būtisks ($p < 0,05$) regresijas vienādojums (5. attēls).



5.att. Niedru audžu vidējais diametrs atkarībā no caurredzamības pēc Seki diska

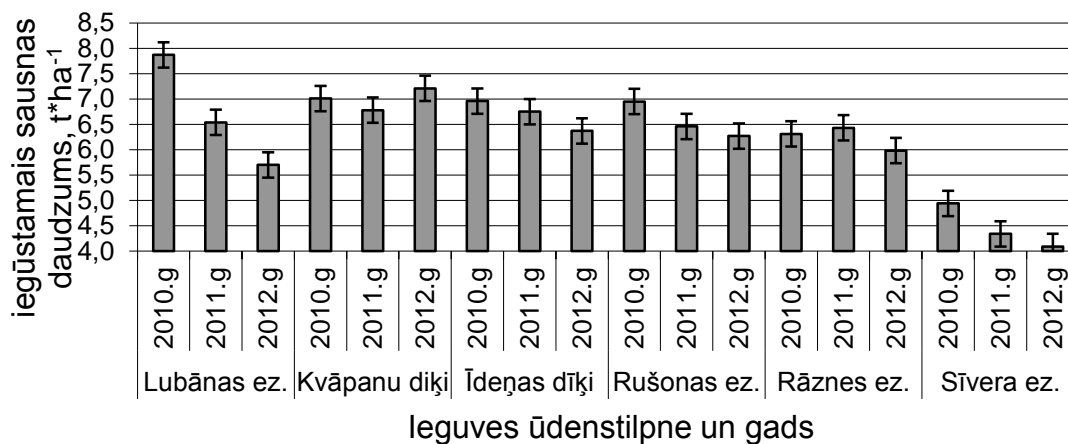
Niedru stiebru diametrs atkarīgs no barības vielu daudzuma ūdenstilpnēs. Konstatēta būtiska ($p < 0,05$) vidēji cieša, pozitīva korelācija starp vidējiem niedru stiebru diametra rādītājiem un kopējā slāpekļa savienojumu vidējo koncentrāciju ($r = 0,70$, $n = 20$), kā arī kopējā fosfora vidējo koncentrāciju ($r = 0,54$, $n = 20$), kas liek secināt, ka niedru vidējo diametru audzēs būtiski ietekmē slāpekļa un fosfora savienojumu daudzums ūdenstilpnes ūdeņos, kuros niedres aug.

Biomasa iznākums jeb produktivitāte ir viens no svarīgākajiem faktoriem, kas raksturo augu piemērotību bioenerģijas ražošanai (Slepetys et al., 2012). Niedru audžu produktivitāte ir daudzveidīga, dažādās augšanas vietās tā ir dažāda (Madison et al., 2009).

Niedru produktivitāti ietekmējošo faktoru izvērtējumam izmantotas iegūstamās niedru sausnas vidējās vērtības audzēs.

Pētījuma rezultāti rāda, ka iegūstamais niedru sausnas daudzums variē robežās no 3,6-8,8 t*ha⁻¹, niedru audžu biomasas raža ir līdzīga miežabrāļa plantāciju ražai, kas variē robežās no 4-10 t*ha⁻¹ (Enerģētisko..., 2007; Sanderson, Adler, 2008). Niedru audzēs, kas tiek izmantotas notekūdeņu attīrīšanai Igaunijā sausā niedru masa variē no 3-17,6 t*ha⁻¹ (Madison et al., 2009).

Konstatētas būtiskas atšķirības starp niedru audžu produktivitāti visos gados Lubānas ezerā. Kā redzams 6. attēlā, tad pārējos ezeros tik krāsas atšķirības nav konstatētas, līdz ar to var secināt, ka klimatiskie apstākļi nav galvenais faktors, kas radījis šīs izmaiņas, un galvenais ietekmējošais faktors ir individuālie niedru augšanas apstākļi Lubānas ezerā.



6. att. Vidējais iegūstamais niedru sausnas daudzums Latgales reģiona ūdenstilpnēs 2010.-2012. gads

Iepriekš veiktie pētījumi liecina, ka niedru audzes kā barības vielas uzņem piekrastes ūdeņos esošos N un P savienojumus (Windham, Lathrop, 1999). Augsts N un P saturs stimulē niedru augšanu (Торохова и др., 2009). N ir galvenais niedru augšanu stimulējošais elements, P iedarbība ir daudz mazāka, līdz ar to N saturs niedru biomasā ir lielāks nekā P saturs (Romero et al., 1999; Meuleman et al., 2002). Līdz ar to var pieņemt, ka barības vielu daudzums dabas ūdeņos ir viens no galvenajiem niedru produktivitāti ietekmējošajiem faktoriem.

Pēc LVĢMC monitoringa datiem pētāmajos gados Lubānas ezerā konstatēts ūdens piesārņojuma samazinājums un kvalitātes uzlabošanās. 2009.gada vasarā vidējā kopējā slāpekļa koncentrācija sastādīja $1,765 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, kopējā fosfora koncentrācija $0,099 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, ūdens caurredzamība pēc Seki diska bija 0,6 m, bet 2011.gada vasarā slāpekļa koncentrācija sastādīja $0,9 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, kopējā fosfora koncentrācija $0,065 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ un ūdens caurredzamība pēc Seki diska bija 0,83 m (EWN-2..., 2013), kas liek secināt, ka niedru produktivitāte ir tieši atkarīga no augšanas procesā pieejamo barības vielu daudzuma.

Noteicošais faktors, kas ietekmē niedru audžu produktivitāti ir ūdenstilpne, ar tai raksturīgajiem niedru augšanas apstākļiem. Tā ietekmes īpatsvars augsts - 66,34 %. Pļaušanas gada faktora ietekmes īpatsvars bija daudz mazāks - 8,23 %, klimatisko apstākļu ietekme bija zema. Ieguves vietas faktoram ezera robežās bija vismazākais ietekmes īpatsvars - 0,66 %, kas liecina par niedru augšanas apstākļu atšķirību vienas ūdenstilpnes robežās vājo ietekmi uz niedru produktivitāti. Visu faktoru ietekme būtiska ($p < 0,05$). Analizēta tādu parametru, kā kopējā slāpekļa un kopējā fosfora koncentrācijas ūdenī, caurredzamības pēc Seki diska un elektrovadītspējas ietekme uz niedru produktivitātes rādītājiem. Analīzē izmantotas kopējā slāpekļa, fosfora koncentrācijas, caurredzamības pēc Seki diska un elektrovadītspējas vidējās vērtības katrā ūdenstilpnē pēdējo desmit gadu periodā, kas noteiktas pēc Latvijas ezeru datubāzē pieejamajiem monitoringa datiem.

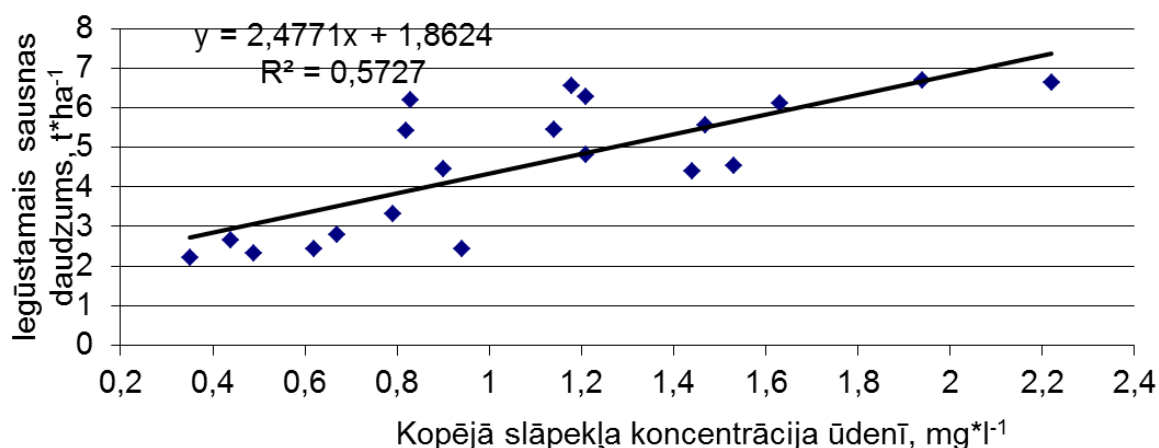
Lai noteiktu sakarību ciešumu starp niedru produktivitāti un to ietekmējošajiem faktoriem veikta parametru korelācijas analīze.

Iegūstamais sausnas daudzums ir tieši atkarīgs no niedru audžu vidējā augstuma, vidējā diametra un biezības, jo lielāka niedru audžu vidējā augstuma, vidējā diametra un biezības vērtība, jo lielāks iegūstamais sausnas daudzums.

Konstatēta cieša pozitīva korelācija starp iegūstamo niedru sausnas masu un niedru audzes raksturojošajiem rādītājiem- niedru vidējo augstumu, diametru un niedru biezību. Starp pazīmēm pastāv cieša lineāra sakarība. Sakarības raksturo statistiski nozīmīgi ($P < 0,05$), regresijas vienādojumi.

Produktivitāte atkarīga no barības vielu daudzuma ūdenstilpnēs. Konstatēta būtiska ($P < 0,05$) vidēji cieša pozitīva korelācija ($r = 0,51$, $n = 20$), starp iegūstamo sausnas masu un kopējā fosfora koncentrāciju ūdenī pētāmajos ezeros, kas liecina par to, ka niedru produktivitāte palielinās, pieaugot kopējā fosfora koncentrācijai ūdenstilpnēs.

Produktivitāte ir tieši atkarīga no kopējā slāpekļa koncentrācijas ūdenstilpnes ūdeņos. Konstatēta būtiska ($P < 0,05$) vidēji cieša pozitīva korelācija ($r = 0,76$, $n = 20$), starp iegūstamo sausnas masu un kopējā slāpekļa koncentrāciju ūdenī pētāmajos ezeros (8. attēls), kas liecina par to, ka niedru produktivitāte palielinās pieaugot kopējā slāpekļa koncentrācijai ūdenstilpnēs, šāda tendence atzīmēta arī citos pētījumos (Romero et al., 1999; Meuleman et al., 2002 Торохова и др., 2009). Sakarību raksturo statistiski nozīmīgs ($P < 0,05$) regresijas vienādojums, tā determinācijas koeficients ir samērā augsts ($R^2 = 0,57$) (7.attēls).



7.att. Iegūstamais sausnas daudzums atkarībā no kopējā slāpekļa koncentrācijas ūdenī

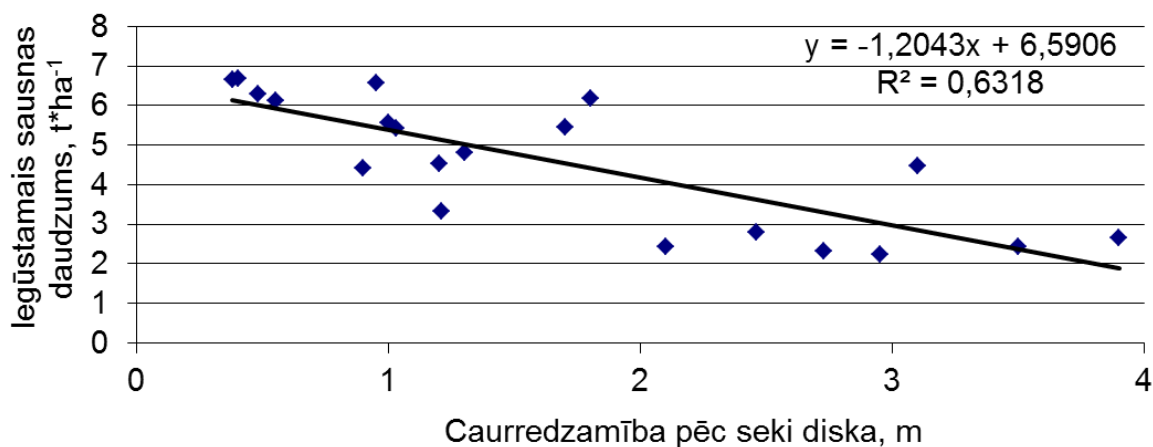
Gan kopējā slāpekļa, gan kopējā fosfora koncentrācija dabas ūdeņos palielina niedru audžu produktivitāti, taču starp abām šīm pazīmēm pastāv multikolinearitāte, līdz ar to veikt daudzfaktoru regresijas analīzi, lai noskaidrotu abu pazīmju summāro efektu uz niedru produktivitāti, nav iespējams.

Kā kopējais piesārņojuma līmeni ūdenstilpnēs raksturojošais rādītājs izmantota caurredzamība pēc Seki diska. Konstatēta būtiska ($P < 0,05$) vidēji cieša negatīva korelācija ($r = -0,79$, $n = 20$), starp iegūstamo sausnas masu un vidējiem caurredzamības pēc Seki diska rādītājiem pētāmajos ezeros (8. attēls), kas liecina par to, ka niedru produktivitāte samazinās pieaugot ūdens caurredzamībai pēc Seki diska. Sakarību raksturo būtisks ($P < 0,05$) regresijas vienādojums, tā determinācijas koeficients ir samērā augsts ($R^2 = 0,63$).

Netika konstatēta būtiska korelācija starp niedru produktivitāti un elektrovadītspējas vidējām vērtībām ūdenstilpnēs, niedru audžu produktivitāte nav atkarīga no ūdeņu, kuros aug niedres, elektrovadītspējas

vērtības, tātad lai novērtētu niedru audžu produktivitāti šo parametru izmantot nedrīkst.

No visiem pētītajiem niedru individuālajiem augšanas apstākļiem tieši caurredzamības pēc seki diska vērtībai konstatēta visciešākā korelācija ar iegūstamo sausnas daudzumu.



8.att. Iegūstamais sausnas daudzums atkarībā no ūdens caurredzamības pēc Seki diska

Dotais regresijas vienādojums (1.vienādojums) var tikt izmantots iegūstamā sausnas daudzuma vidējās vērtības prognozēšanai vietās, kur biomasas produktivitātes pētījumi nav veikti.

$$M_{saus} = -1,2H_{seki} + 6,59 \quad (1.)$$

Kur, M_{saus} – Iegūstamā sausnas masa ($t \cdot ha^{-1}$);

H_{seki} – vidējā caurredzamība pēc seki diska (m).

Lai noskaidrotu niedru pļaušanas ietekmi uz iegūstamo biomasas daudzumu tika veikta Lubānas un Papes ezeros 2012. gadā veikto lauka pētījumu datu apstrāde, izmantojot trīsfaktoru dispersijas analīzi. Lubānas ezerā netika konstatēta būtiska atšķirība iegūstamā biomasas daudzuma vērtībām starp iepriekš pļautām un nepļautām audzēm, bet Papes ezerā tā bija būtiska. Iegūstamais biomasas daudzums Papes ezerā iepriekš ilgtermiņā (vairāk kā 10 gadus) pļautajās niedru audzēs bija par aptuveni 50% mazāks nekā nepļautajās audzēs. Tātad ilgtermiņa niedru pļaušana noved pie biomasas samazināšanās niedru audzēs, bet īstermiņa pļaušana neizraisa būtiskas izmaiņas niedru audžu iegūstamās biomasas vērtībās. Literatūrā aprakstīti pētījumi, kas liecina, ka iegūstamais niedru biomasas daudzums

iepriekš pļautās audzēs ir lielāks nekā nepļautās (Valkama et al., 2008), taču mūsu pētījumā niedru audzes Papes ezerā, kas iepriekš bija pļautas, deva mazāku ražu nekā līdzās esošās nepļautās audzes, tas varētu būt saistīts ar faktu, ka Papē audzes tiek pļautas vairāk kā 10 gadus, bet iepriekš minētajā pētījumā pārsvarā tika analizēti dati no īstermiņa pļautām audzēm ar pļaušanas laiku 1-3 gadi. Pļaušanas faktora ietekme iegūstamo biomasas daudzumu bija būtiska ($p < 0,05$), tā ietekmes intensitāte sastādīja 25,85 %. Tomēr noteicošais faktors, kas ietekmē iegūstamo niedru biomasas daudzumu, ir ūdenstilpne, kurā niedres iegūtas, tās ietekmes intensitāte bija 44,90 % un ietekme bija būtiska ($p < 0,05$). Vietas ietekme katrā ezerā nebija būtiska. Salīdzinoši augsta ietekmes intensitāte bija ūdenstilpnes un pļaušanas faktoru mijiedarbības efektam- 27,15 %, kas norāda uz to, ka būtiska ir pļaušanas intensitāte, audzēs Lubānas ezerā, kas pļautas 1-3 gadus būtiskas izmaiņas niedru produktivitātē netika konstatētas, bet Papes ezerā, kur veikta ilgtermiņa pļaušana niedru produktivitāte bija pat par 50 % zemāka, salīdzinot ar nepļautām audzēm.

Iegūstot niedres ziemas periodā, jāpielieto lauku metode un vienā pļaušanas reizē nedrīkst pļaut vairāk par 50 % no kopējām niedru platībām, katru gadu niedres jāpļauj citā vietā, lai neizraisītu izmaiņas niedru audžu struktūrā. Intensīvāka ieguve pieļaujama vietās, kur nepieciešama niedru aizauguma samazināšana. Turklāt šāda ieguves metode ļaus saglabāt neskartas niedru platības ūdensputnu ligzdošanai.

2.4. Niedru siltumtehniko īpašību un to ietekmējošo faktoru izvērtējums

Niedru piemērotību enerģijas ražošanai raksturo to siltumtehnikās īpašības. Niedru siltumtehnikās īpašības un dažādu faktoru ietekme uz tām analizēta 11 Latgales reģiona ūdenstilpnēs, ar trīs gadu izmēģinājumu rezultātiem, veicot divfaktoru dispersijas analīzi un īpašību korelācijas un regresijas analīzi. Būtiskajām sakarībām sastādīti regresijas vienādojumi. Analizētas tādas īpašības kā niedru biomasas zemākais sadegšanas siltums, oglekļa saturs biomasā, pelnu saturs niedru biomasā, relatīvais mitruma saturs, gaistošo vielu saturs biomasā un lignīna saturs biomasā. Pie ilgtermiņa niedru izmantošanas ir svarīgi noskaidrot, vai, pļaujot niedres, neizmainās to īpašības. Pētījumos par miežabrāli minēts, ka arī ieguves laiks būtiski ietekmē biomasas siltumtehnikās īpašības (Poiša et al., 2011), taču niedru novākšanas laiks ir ierobežots, pie esošā ieguves tehnikas nodrošinājuma, to rūpnieciskai novākšanai nepieciešama bieža ledus sega, niedres lielos apjomos neradot būtiskas izmaiņas audzēs

parasti iespējams novākt tikai no februāra sākuma līdz marta beigām, kas sakrīt ar laiku kad niedrēm ir vislabākās siltumtehnikās īpašības, līdz ar to novākšanas laika ietekme uz niedru īpašībām netika analizēta.

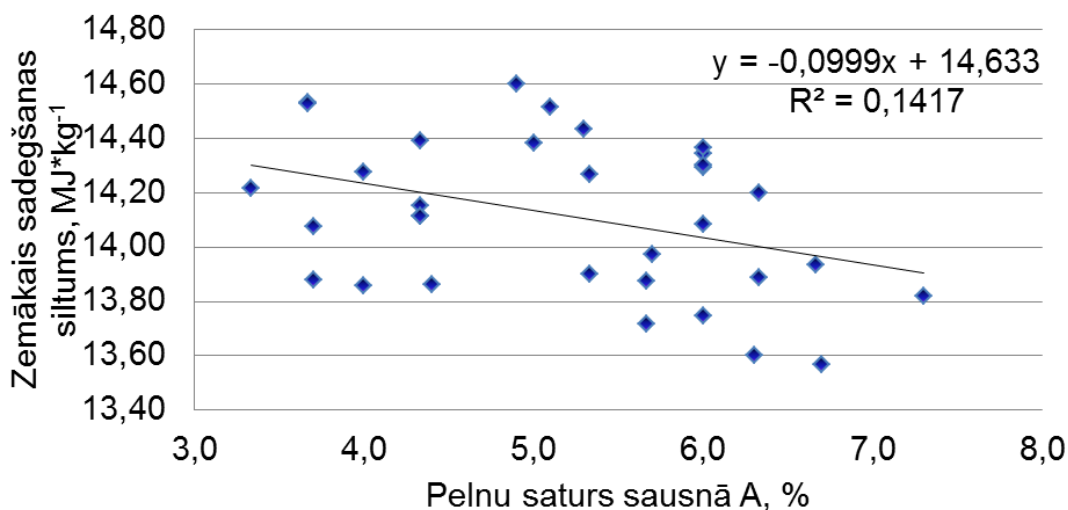
Niedru biomasas zemākais sadegšanas siltums analizējamajiem paraugiem variēja robežās no 13,57 -14,70 MJ*kg⁻¹.

Galvenie sadegšanas siltumu ietekmējošie faktori ir degošo elementu, mitruma un pelnu saturs biomasā. Konstatētas būtiskas korelācijas starp šiem faktoriem (2. tabula). Zemākais sadegšanas siltums samazinās pieaugot pelnu saturam niedru biomasā (9. attēls), konstatēta būtiska (P >0,05, r =0,38, n=33) negatīva korelācija starp zemāko sadegšanas siltumu un pelnu saturu niedru sausrnā. Lai arī korelācija starp zemāko sadegšanas siltumu un pelnu saturu ir būtiska tomēr determinācijas koeficients (R²) lineārās regresijas modelim ir salīdzinoši zems (0,14).

2. tabula

Zemākā sadegšanas siltuma un to ietekmējošo faktoru korelācijas matrica

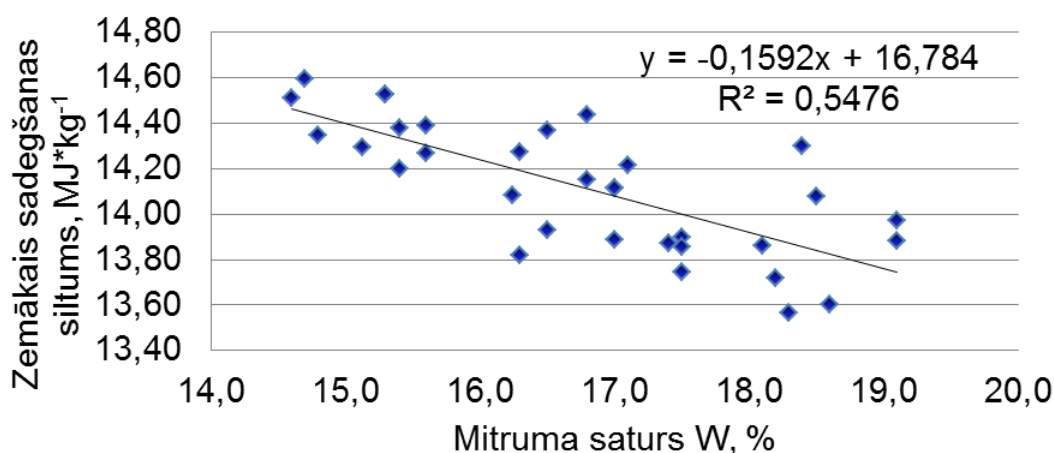
Parametrs	Q _{zem} , MJ*kg ⁻¹	W,% (kā novākts)	A, %	C, %
Q _{zem} , MJ*kg ⁻¹	1	-	-	-
W,% (kā novākts)	-0,74	1,00	-	-
A, %	-0,38	0,00	1,00	-
C, %	0,63	-0,34	-0,15	1,00



9.att. Zemākais sadegšanas siltums ziemā virs ledus pļautā niedru biomasā Latgales reģiona ezeros atkarībā no pelnu satura

Zemākais sadegšanas siltums samazinās pieaugot mitruma saturam niedru biomasā, konstatēta būtiska (P >0,05, r =0,74, n=33) negatīva

korelācija starp zemāko sadegšanas siltumu un mitruma saturu niedru biomasā (10. attēls).



10. att. Zemākais sadegšanas siltums ziemā virs ledus pļautā niedru biomasā Latgales reģiona ezeros atkarībā no mitruma satura

Determinācijas koeficients lineārās regresijas modelim, kas raksturo zemākā sadegšanas siltuma atkarību no mitruma satura biomasā ir augstāks nekā zemākā sadegšanas siltuma atkarībai no pelnu satura ($R^2=0,55$).

Lai varētu noteikt kopējo mitruma satura un pelnu satura ietekmi uz niedru biomasas sadegšanas siltumu izmantota daudzfaktoru regresijas analīze. Kopējā mitruma un pelnu satura ietekme uz niedru biomasas zemāko sadegšanas siltumu izskaidrojama ar lineārās regresijas vienādojumu (2. vienādojums).

$$Q_{zem}=17,29 -0,099A - 0,1588W \quad (2.)$$

Kur, Q_{zem} – niedru biomasas zemākais sadegšanas siltums ($MJ*kg^{-1}$);

A – pelnu saturs niedru biomasā (%);

W – relatīvais mitruma saturs niedru biomasā (%).

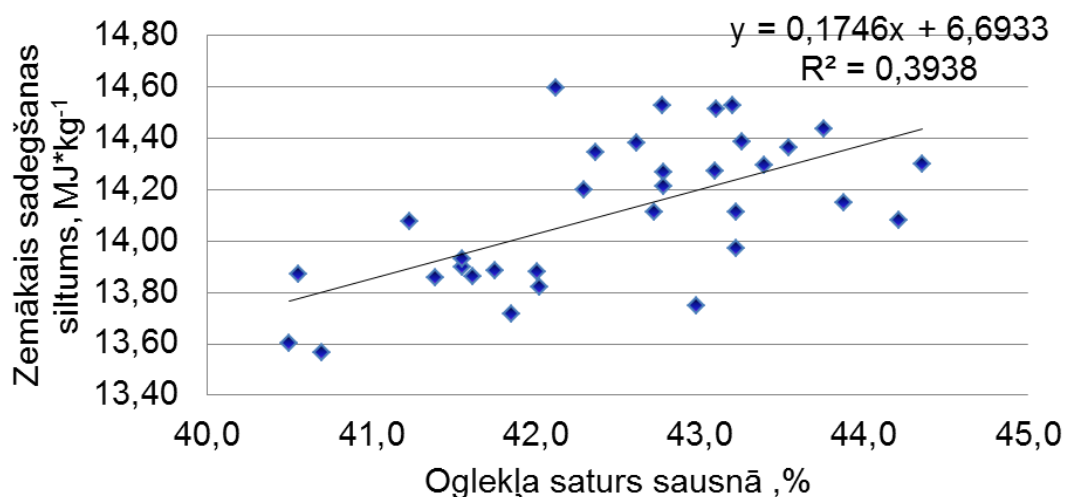
Determinācijas koeficients (R^2) lineārās regresijas modelim, kas raksturo zemākā sadegšanas siltuma atkarību no mitruma un pelnu satura biomasā ir augstāks nekā abiem faktoriem atsevišķi ($R^2=0,69$).

Kā redzams no 1.vienādojuma sausā bezpelnu stāvoklī niedru biomasas Sadegšanas siltums vidēji sastāda $17,29 MJ*kg^{-1}$. Mitruma satura paaugstināšanās par 1% samazina sadegšanas siltuma vērtību par $0,1588 MJ*kg^{-1}$, bet pelnu satura paaugstināšanās par 1 % samazina sadegšanas siltuma vērtību par $0,099 MJ*kg^{-1}$, kas liek secināt, ka mitruma

satura ietekme ir aptuveni 1,6 reizes lielāka par pelnu satura ietekmi uz niedru biomasas zemāko sadegšanas siltumu.

Trīs gadu pētījumu rezultāti liecina, ka pavasara periodā iespējams novākt niedres ar mitruma saturu 14-20 % (Vidēji 16,8 %), pelnu saturs niedru biomasā variē no 3,3-7,3 % (Vidēji 5,2 %), izmantojot 1.vienādojumu, var aprēķināt zemākā sadegšanas siltuma vērtības pie dažādiem mitruma un pelnu saturiem. Tātad vidējais pavasara periodā novāktu niedru biomasas zemākais sadegšanas siltums sastāda $14,1 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, jeb $3,92 \text{ MWh}\cdot\text{t}^{-1}$. Praksē mitruma un pelnu saturs ir samērā viegli nosakāmi kurināmā raksturlielumi, 1.vienādojumu var izmantot pie zemākā sadegšanas siltuma aprēķināšanas niedru biomasai, gadījumos, kad nav zināms degošo produktu saturs.

Konstatēta būtiska ($P > 0,05$, $r = 0,63$, $n=33$) pozitīva korelācija starp oglekļa saturu niedru biomasā un zemāko sadegšanas siltumu (11. attēls)



11. att. Zemākais sadegšanas siltums ziemā virs ledus pļautā niedru biomasā Latgales reģiona ezeros atkarībā no oglekļa satura

Determinācijas koeficients (R^2) lineārās regresijas modelim, kas raksturo zemākā sadegšanas siltuma atkarību no oglekļa satura biomasā ir 0,39. Lai varētu noteikt kopējo mitruma satura, pelnu satura un oglekļa satura ietekmi uz niedru biomasas sadegšanas siltumu izmantota daudzfaktoru regresijas analīze. Kopējā mitruma pelnu un oglekļa satura ietekme uz niedru biomasas zemāko sadegšanas siltumu izskaidrojama ar lineārās regresijas vienādojumu (3. vienādojums).

$$Q_{zem} = 0,1037C - 0,0844A - 0,1317W + 12,3566 \quad (3.)$$

Kur, Q_{zem} – niedru biomasas zemākais sadegšanas siltums ($MJ \cdot kg^{-1}$);
C – Oglekļa saturs niedru biomasā (%);
A – pelnu saturs niedru biomasā (%);
W – relatīvais mitruma saturs niedru biomasā (%).

Determinācijas koeficients (R^2) lineārās regresijas modelim, kas raksturo zemākā sadegšanas siltuma atkarību no oglekļa, mitruma un pelnu satura biomasā ir augsts ($R^2=0,81$). Vienādojumu var izmantot zemākā sadegšanas siltuma aprēķināšanai gadījumos, kad papildus mitruma un pelnu saturam zināms arī oglekļa saturs niedru biomasā.

Kā redzams no 1. un 2. vienādojuma, tad tieši mitruma saturs ir būtiskākais faktors, kas ietekmē niedru biomasas zemāko sadegšanas siltumu, tāpēc pie niedru izmantošanas kurināmā ražošanai jāpievērš īpaša uzmanība mitruma satura samazināšanas iespējām.

Lai noskaidrotu, vai niedru pļaušanas rezultātā izmainās sadegšanas siltums, tika veikta pļaušanas faktora ietekmes uz niedru biomasas sadegšanas siltumu analīze. Lai novērstu mitruma un pelnu satura ietekmi tika analizēti niedru sausnas bezpelnu stāvoklī augstākā sadegšanas siltuma pētījumu rezultāti. Augstākais sadegšanas siltums iepriekš pļautās un iepriekš nepļautās niedru audzēs variēja robežās no 16,84-18,03 $MJ \cdot kg^{-1}$. Vienā no četriem pētāmajiem paraugiem atšķirība starp sadegšanas siltuma rādītājiem iepriekš pļautai un iepriekš nepļautai audzei nebija būtiska, pārējās trijās atšķirība bija būtiska. Konstatēts, ka pļaušanas rezultātā niedru augstākais sadegšanas siltums palielinājās vidēji par 3,4 %. Tas izskaidrojams ar to, ka iepriekš nepļautās audzēs kopējā biomasā tiek nopļautas arī iepriekšējā gada niedres, kas iespējams daļēji sākušas trūdēt, un to sadegšanas siltums ir nedaudz zemāks par kārtējā gadā ataugušajiem stiebriem, līdz ar to kārtējā gada niedru sadegšanas siltums ir nedaudz augstāks.

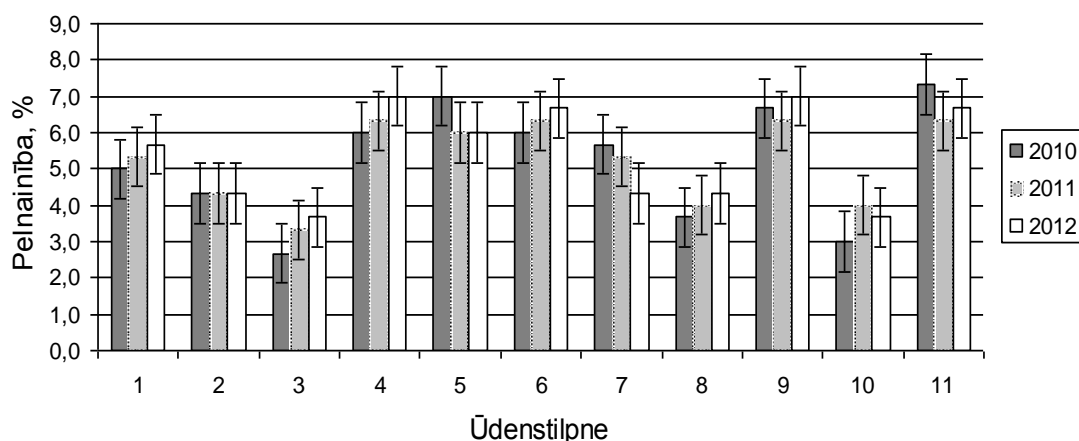
Oglekļa saturs analizējamajos paraugos variēja robežās no 40,44-44,54 %, kas bija nedaudz zemāks, nekā aprakstīts citā pētījumā, Igaunijas pētnieku veiktajos pētījumos ziemā pļautām niedrēm tas variēja no 46.96 līdz 48.34 % (Reed..., 2007), atšķirības varēja rasties, izmantojot dažādu oglekļa satura noteikšanas aparatūru un metodiku, kā arī atkarībā no pētāmo augu vecuma. Lielākais oglekļa saturs pētāmajos paraugos 2010.gada niedru ražai konstatēts Kvāpānu dīķos, Luknas ezerā, Ciriša ezerā, Feimaņu ezerā un Rāznas ezerā. 2011.gada ražā lielākais oglekļa saturs konstatēts Kvāpānu dīķos, un Rāznas ezerā augošajās niedrēs. 2012.gada ražā lielākais oglekļa saturs konstatēts Kvāpānu dīķos

un Rāznas ezerā. Izmaiņas oglekļa saturā dažādos gados izskaidrojamas ar to, ka klāt pie kārtējā gada biomasas ir arī iepriekšējā gada stiebri, kuri daļēji ir sākuši trūdēt, līdz ar to oglekļa saturs samazinās.

Pelnu saturs analizējamajos paraugos variēja robežās no 2-8 %. Vidēji niedres satur ap 5 % pelnu, kas ir piecas reizes augstāks rādītājs, kā koksnei, bet līdzinās salmu un miežabrāļa pelnu saturam. Atšķirības starp pelnu satura rādītājiem dažādos gados nevienā no pētāmajiem ezeriem nebija būtiskas, kas liek secināt, ka klimatisko apstākļu ietekme uz niedru pelnu saturu ir vāja (12. attēls). Pelnu saturs atkarīgs no katras ūdenstilpnes individuālajiem niedru augšanas apstākļiem, ieguves vietas ietekmes īpatsvars sastādīja 83,8 %. Pelnu saturs niedru biomasā ir stabils vienas ūdenstilpnes robežās. Galvenie pelnu saturu ietekmējošie faktori varētu būt dažādu elementu saturs ūdenī un nogulumos, kas augšanas procesā tiek uzņemti niedrēs.

Dispersijas analīzes rezultāti rāda, ka pelnu saturu pētāmajos paraugos būtiski ($p < 0,001$) ietekmēja ieguves vieta ($\eta = 83,8$ %), daudz mazāka, taču būtiska ($p < 0,05$) bija arī ieguves vietas un ieguves gada mijiedarbības ietekme ($\eta = 7$ %), bet ieguves gada ietekme uz pelnu saturu nebija būtiska ($p > 0,05$).

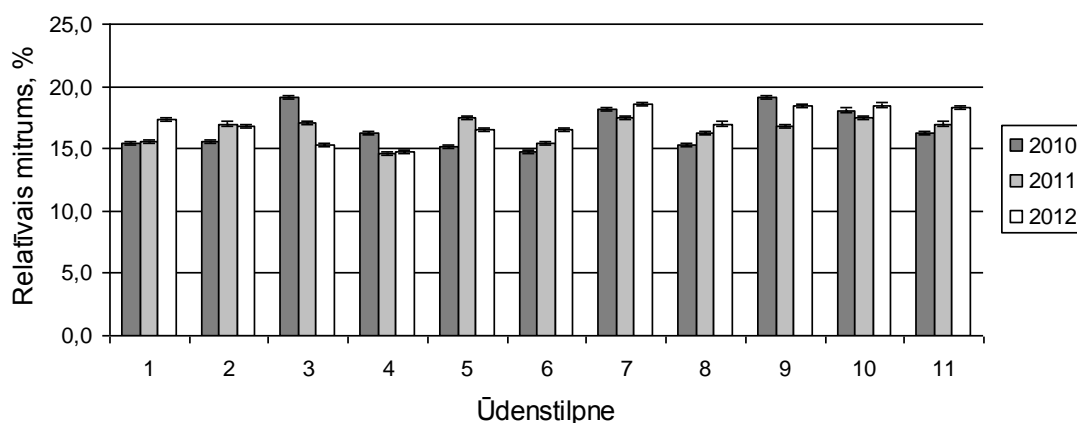
Pelnu saturs nav atkarīgs no niedru ieguves intensitātes. Pelnu saturs trijos no četriem analizējamajiem paraugiem bija augstāks iepriekš pļautajās audzēs, taču visos pētāmajos paraugos pelnu satura atšķirības starp iepriekš pļautajiem un iepriekš nepļautajiem paraugiem nebija būtiskas ($p > 0,05$).



1-Lubānas ezers, 2-Kvāpānu dīķi, 3-Īdeņas dīķi, 4-Luknas ezers, 5-Ciriša ezers, 6-Sīvera ezers, 7- Rušonas ezers, 8-Feimaņu ezers, 9-Rāznas ezers, 10-Cirmas ezers, 11-L.Ludzas ezers.

12. att. Pelnu satura vidējās vērtības ziemā virs ledus pļautā niedru biomasā Latgales reģiona ezeros

Relatīvā mitruma saturs analizējamajos paraugos variēja robežās no 14,5-19,2 %. Vidējais mitruma saturs niedru biomasas paraugiem sastādīja ap 16,8 %, kas liecina par to, ka niedres var sekmīgi dedzināt bez iepriekšējas žāvēšanas. Līdzīgs mitruma saturs konstatēts arī Igaunijas pētnieku pētījumā- niedres ar mitruma saturu, kas nepārsniedz 20% var novākt pavasara-ziemas periodā (Reed..., 2007). Atšķirības starp relatīvā mitruma rādītājiem dažādos gados visos pētāmajos ezeros bija būtiskas (13. attēls), kas izskaidrojams ar klimatisko apstākļu ietekmi uz mitruma saturu.



1-Lubānas ezers, 2-Kvāpānu dīķi, 3-Īdeņas dīķi, 4-Luknas ezers, 5-Ciriša ezers, 6-Sīvera ezers, 7- Rušonas ezers, 8-Feimaņu ezers, 9-Rāznas ezers, 10-Cirmas ezers, 11-L.Ludzas ezers.

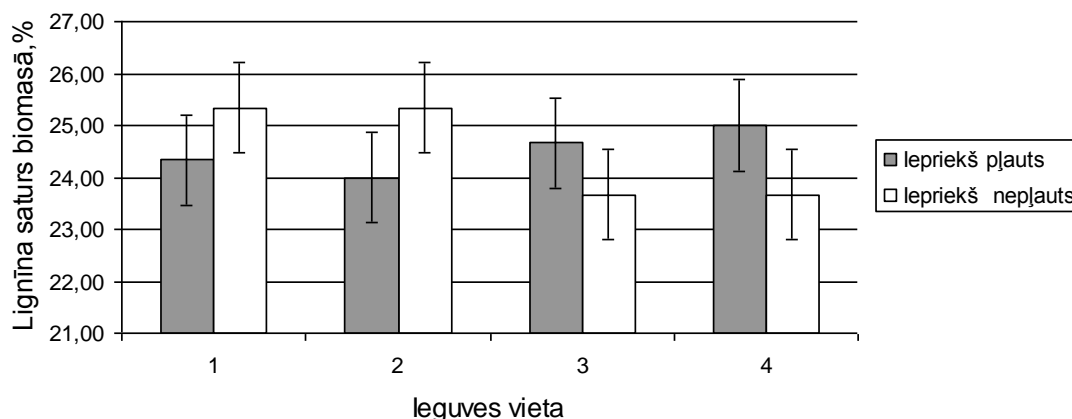
13. att. Relatīvā mitruma vidējās vērtības ziemā virs ledus pļautā niedru biomasā Latgales reģiona ezeros

Mitruma saturs tieši atkarīgs no klimatiskajiem apstākļiem, niedrēm tas var būtiski atšķirties pat vienas dienas ietvaros, no rīta tas ir augstāks, bet pusdienlaikā zemāks (Reed..., 2007). Gaissausā mitrumā stāvoklī niedru mitrums var sasniegt vidēji 11 %, novietojot nopļautās niedres zem nojumes to mitruma saturs samazinājās līdz 10,5-12,8%. Novācamo enerģētisko niedru mitrums ir aptuveni 3 reizes zemāks, kā šķeldai, ko izmanto šķeldas apkures katlos, līdz ar to smalcinātu niedru pievienošana šķeldai varētu uzlabot tās degšanu un paaugstināt sadegšanas siltuma vērtību. Pavasara periodā pļautu niedru mitrums ir zems, tās ir piemērotas dedzināšanai bez iepriekšējas žāvēšanas un, ņemot vērā būtisko mitruma satura ietekmi uz niedru biomasas sadegšanas siltumu, īpaša uzmanība jāpievērš niedru novākšanas, uzglabāšanas un loģistikas jautājumiem, lai, ja ne samazinātu, tad vismaz nepaaugstinātu mitruma saturu niedru biomasā.

Lignīna saturs niedru biomasā. Literatūrā minēts, ka niedres satur 18,13-20,23 % lignīna (Niedru..., 2011). Lignīna saturs analizējamajos paraugos no Latgales reģiona ūdenstilpnēm bija augstāks un variēja robežās no 21-26 %. Atšķirības varēja rasties, pielietojot dažādas lignīna satura noteikšanas metodes.

Lignīna saturs augos variē atkarībā no to veida. Koksnei tas variē robežās no 19-30%, citu augu šķiedrās 8-22 %, nosakot lignīna saturu pēc Klāsona metodes (Termal..., 2005), lignīna saturs mūsu pētījumā bija līdzvērtīgs koksnes biomasai un augstāks nekā dažādu citu augu šķiedrās, kas liecina par niedru piemērotību granulēšanai un briketēšanai bez papildus saistvielu pievienošanas. Klimatisko apstākļu ietekme uz lignīna saturu ir vāja.

Lignīna saturs paraugos no iepriekš pļautām un nepļautām niedru audzēm variēja robežās no 23-26 %. Visos pētāmajos paraugos Lignīna satura atšķirības starp iepriekš pļautajiem un iepriekš nepļautajiem paraugiem nebija būtiskas ($p > 0,05$) (14. attēls).



1.,2. ieguves vieta-Lubānas ezers, 3.,4. ieguves vieta-Papes ezers

14. att. Lignīna saturs iepriekš pļautās un nepļautās niedru audzēs

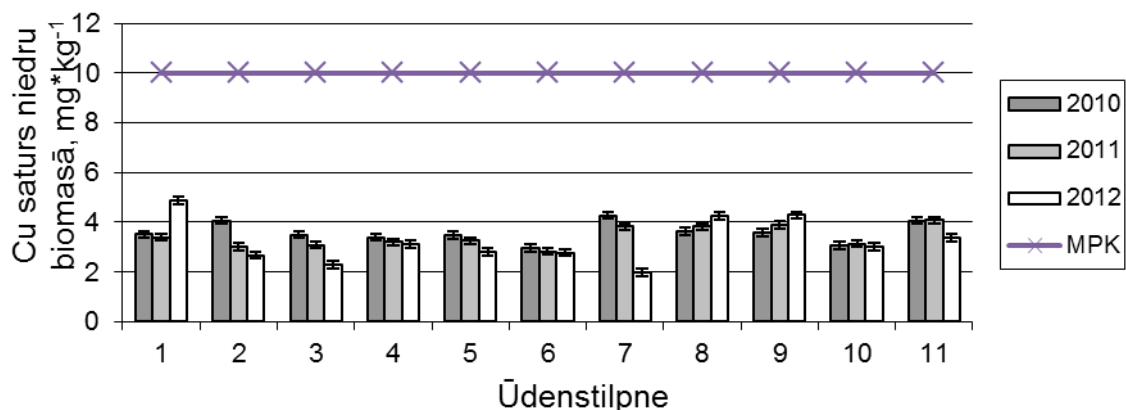
2.5. Smago metālu saturs niedru sausrā

Smago metālu saturs biomasā, ko izmanto kurināmā ražošanā, ir limitēts dažādos ES standartos. Niedru biomasas piemērotība kurināmā ražošanai izvērtēta atbilstoši Vācijas standartam DIN 51731 un ES standartam prEN 14961-3, kuros ir noteiktas smago metālu maksimāli pieļaujamās koncentrācijas cietajam biokurināmajam.

Cu saturs niedru biomasā variēja robežās no 1,98 – 4,98 mg*kg⁻¹, kas sastādīja līdz 50 % no MPK biomasas kurināmajam. Cu saturs mežistrādes atliekās sastāda ap 2 mg*kg⁻¹ (Adamovičs u.c., 2009), kas

liek secināt, ka niedru biomasā satur vidēji 1,5 reizes vairāk Cu nekā mežistrādes atliekas, taču tā iekļaujas MPK robežās. Niedru audžu Cu iznese sastādīja $1,38-3,48 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{gads}^{-1}$, kas ir apmēram divas reizes mazāka, kā konstatēts pie notekūdeņu attīrīšanā izmantoto niedru biomasu (Lesage et al., 2007). Niedru spēja uzņemt Cu no dabas ūdeņiem un sedimentiem ir atkarīga no Cu savienojumu koncentrācijas tajos. Novācot 1 ha niedru no ūdeņiem var aizvēkt 138-348 g Cu. Cu izneses pakāpe ap 570 g uz 1 ha niedru novācot niedru stiebrus tika konstatēta arī citā pētījumā (Ali et al., 2002), kas norāda uz to, ka niedru stiebriem ir labas Cu uzņemšanas spējas, kas sakrīt ar iepriekš veiktā pētījuma (Duman et al., 2007) atziņām.

Cu savienojumi tika konstatēti visos analizējamajos paraugos. Luknas, Sīvera un Cirmas ezeros Cu saturam niedru biomasā nebija būtisku atšķirību dažādu gadu ņemtajiem paraugiem, pārējos ezeros Cu saturs niedru biomasā būtiski mainījās atkarībā no pļaušanas gada, kas liecina par augstu Cu mobilitāti dabas ūdeņos, nevienā no pētāmajiem paraugiem Cu saturs nepārsniedza MPK. (15. attēls).



1-Lubānas ezers, 2-Kvāpānu dīķi, 3-Īdeņas dīķi, 4-Luknas ezers, 5-Ciriša ezers, 6-Sīvera ezers, 7- Rušonas ezers, 8-Feimaņu ezers, 9-Rāzns ezers, 10-Cirmas ezers, 11-L.Ludzas ezers.

15. att. Cu satura vidējās vērtības ziemā virs ledus pļautā niedru biomasā Latgales reģiona ezeros

Triju gadu pētījumu rezultātu par Cu saturu niedru biomasā divfaktoru dispersijas analīze liecina, ka Cu saturu pētāmajos paraugos būtiski ($p < 0,001$) ietekmēja ieguves vieta, ieguves gads un ieguves vietas un ieguves gada mijiedarbības faktors. (3. tabula).

Faktoru ietekmes īpatsvars uz Cu saturu niedru biomasā, η %

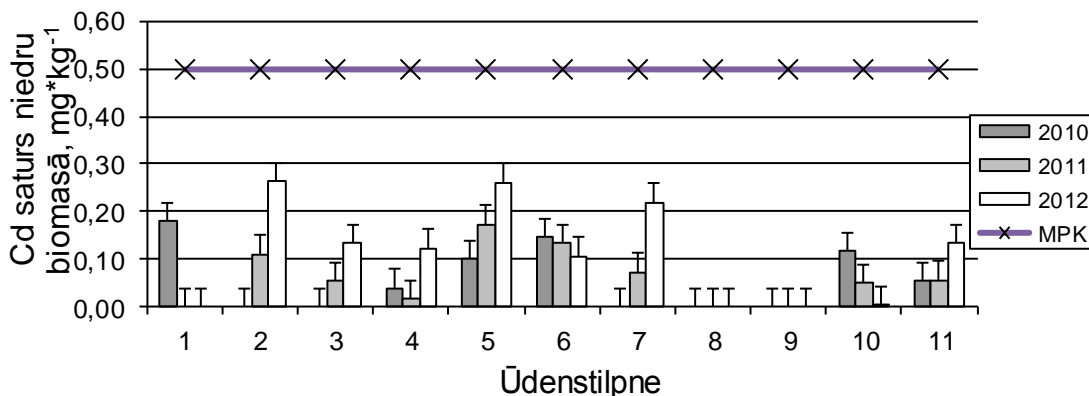
Faktors	p- vērtība	η %
Ieguves vieta (A)	<0.001	40.7
Ieguves gads (B)	<0.001	6.1
Mijiedarbība (A×B)	<0.001	51.8

Visaugstākais ietekmes īpatsvars bija ieguves vietas un ieguves gada mijiedarbības faktoram, tā ietekmes intensitāte augsta- 51,8 %. Klimatisko apstākļu ietekme uz smago metālu saturu niedru sausnā ir vāja, lai arī ieguves gada ietekme bija būtiska ($p < 0.001$), tomēr tā ietekmes īpatsvars aptuveni astoņas reizes mazāks kā abu faktoru mijiedarbībai – 6,1 %. Ieguves vietas faktora ietekmes īpatsvars 40,7 %, kas liek secināt, ka Cu saturs niedru biomasā ir atkarīgs no Cu satura katras ūdenstilpnes sedimentos un ūdenī. Cu saturs būtiski atšķiras starp dažādos ezeros novāktajām niedrēm, taču tas nevienā no pētāmajiem ezeriem nepārsniedza MPK, līdz ar to var secināt, ka dažādos ezeros iegūtās niedres var jaukt kopā un izmantot kā kurināmo.

Cd saturs niedru biomasā bija salīdzinoši neliels un variēja robežās no 0 – 0,28 mg*kg⁻¹, kas visos pētāmajos ezeros bija zem MPK (16. attēls). Cd saturs mežistrādes atliekās sastāda 0,1-0,2 mg*kg⁻¹ (Adamovičs u.c., 2009), kas liek secināt, ka Cd saturs niedru biomasā ir līdzīgs Cd saturam koksnē. Niedru audžu Cd iznese sastādīja no 0-0,20 mg*m⁻²*gads⁻¹, kas bija lielāka par Cd savienojumu iznesi ar niedrēm no notekūdeņu attīrīšanas iekārtām (Lesage et al., 2007), kur tā sastādīja 0,014-0,038 mg*m⁻²*gads⁻¹, kas liecina par to, ka Cd uzņemšana niedru stiebrs atkarīga no tā satura ūdeņos un sedimentos.

Visās pētāmajās ūdenstilpnēs Cd saturs niedru biomasā būtiski mainījās atkarībā no pļaušanas gada, kas liecina par augstu Cd savienojumu mobilitāti dabas ūdeņos, kas tika aprakstīta arī citos pētījumos (Kozłowska et al., 2009; Duman et al., 2007). Feimaņu un Rāznas ezerā Cd niedru biomasā nevienā no gadiem netika konstatēts. Lubānas ezerā tas tika konstatēts 2010.gadā, bet 2011. un 2012. gadā Cd niedru biomasā netika konstatēts. Kvāpānu un Īdeņas dīķos 2010. gadā Cd netika konstatēts, taču tika konstatēts 2011. un 2012. gadā ņemtajos niedru

biomasas paraugos. Pārējos pētāmajos ezeros Cd konstatēts visos gados dažādās koncentrācijas, kas arī norāda uz augstu Cd savienojumu mobilitāti dabas ūdeņos.



1-Lubānas ezers, 2-Kvāpānu dīķi, 3-Īdeņas dīķi, 4-Luknas ezers, 5-Ciriša ezers, 6-Sīvera ezers, 7- Rušonas ezers, 8-Feimaņu ezers, 9-Rāznas ezers, 10-Cirmas ezers, 11-L.Ludzas ezers.

16. att. Cd satura vidējās vērtības ziemā virs ledus pļautā niedru biomasā Latgales reģiona ezeros

Pētījumu rezultātu par Cd saturu niedru biomasā divfaktoru dispersijas analīze liecina, ka Cd saturu pētāmajos paraugos būtiski ($p < 0,001$) ietekmēja ieguves vieta, ieguves gads un ieguves vietas un ieguves gada mijiedarbības faktors (4.tabula).

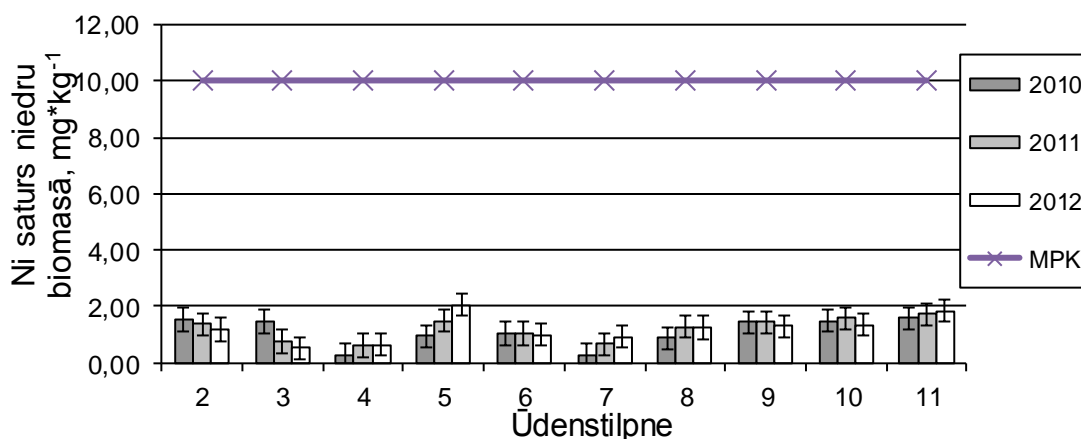
4. tabula
Faktoru ietekmes īpatsvars uz Cd saturu niedru biomasā, η %

Faktors	p- vērtība	η %
Ieguves vieta (A)	<0.001	44.2
Ieguves gads (B)	<0.001	9.4
Mijiedarbība (A×B)	<0.001	43.9

Vislielākais ietekmes īpatsvars bija ieguves vietas un ieguves gada mijiedarbības, kā arī ieguves vietas faktoriem, to ietekmes intensitāte bija līdzīga - ap 44 %. Lai arī ieguves gada ietekme bija būtiska, tomēr tā ietekmes īpatsvars salīdzinoši neliels – 9,4 %. kas liek secināt, ka Cd saturu niedru biomasā lielākā mērā ietekmē smago metālu saturs ūdenī un

sedmentos katrā ūdenstilpnē, nekā ieguves gads. Cd saturs būtiski atšķirās starp dažādos ezeros novāktajām niedrēm, taču tas nevienā no pētāmajiem ezeriem nepārsniedza MPK, līdz ar to var secināt, ka dažādos ezeros iegūtās niedres var jaukt kopā un izmantot kā kurināmo.

Ni saturs niedru biomasā variēja robežās no 0,29-2,06 mg*kg⁻¹, visās pētāmajās ūdenstilpnēs tas bija aptuveni piecas reizes mazāks par MPK. Ni saturs mežistrādes atliekās sastāda ap 0,5 mg*kg⁻¹ (Adamovičs u.c., 2009), kas liek secināt, ka Ni saturs niedru biomasā ir vidēji trīs reizes augstāks par Ni saturu koksnē, taču ir mazāks par MPK. Niedru audžu Ni iznese sastādīja 0,2-1,44 mg*m⁻²*gads⁻¹, kas variēja plašākā diapazonā, kā niedrēs, kas tika izmantotas notekūdeņu attīrīšanai (Lesage et al., 2007), kur niedru iznese Ni sastādīja 0,57-0,91 mg*m⁻²*gads⁻¹. Ni savienojumi tika konstatēti visos analizējamajos paraugos. Lubānas ezerā, Īdeņas dīķos un Ciriša ezerā tika konstatētas būtiskas Ni satura biomasā atšķirības starp dažādos gados ņemtajiem paraugiem. Pārējos pētāmajos ezeros Ni saturs niedru biomasā būtiski nemainījās atkarībā no pļaušanas gada (17. attēls).



1-Lubānas ezers, 2-Kvāpānu dīķi, 3-Īdeņas dīķi, 4-Luknas ezers, 5-Ciriša ezers, 6-Sīvera ezers, 7- Rušonas ezers, 8-Feimaņu ezers, 9-Rāzņas ezers, 10-Cirmas ezers, 11-L.Ludzas ezers.

17. att. Ni satura vidējās vērtības ziemā virs ledus pļautā niedru biomasā Latgales reģiona ezeros

Ni saturu pētāmajos paraugos būtiski ($p < 0,001$) ietekmēja ieguves vieta un ieguves vietas un ieguves gada mijiedarbības faktors, bet ieguves gadam nebija būtiskas ietekmes ($p > 0,05$) uz Ni saturu niedru biomasā (5. tabula).

5. tabula

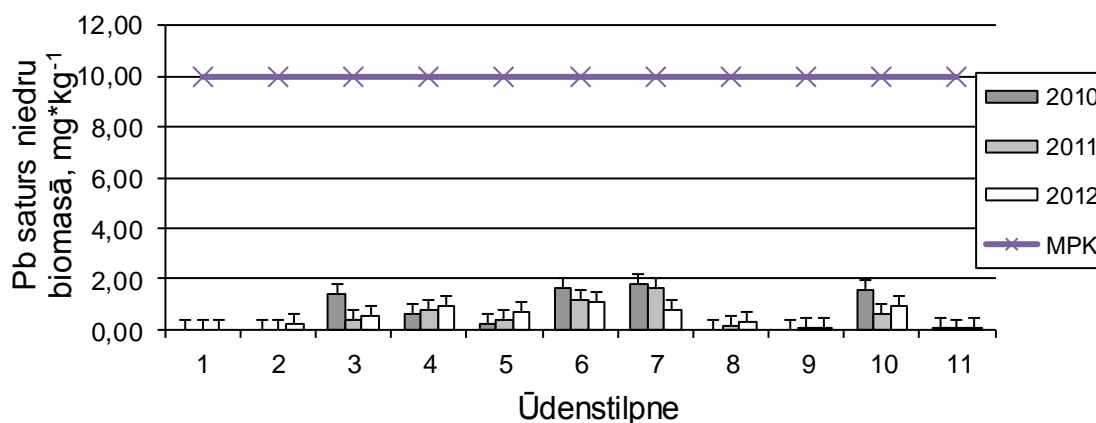
Faktoru ietekmes īpatsvars uz Ni saturu niedru biomasā, η %

Faktors	p- vērtība	η %
Ieguves vieta (A)	<0.001	57.9
Ieguves gads (B)	>0.05	0.0
Mijiedarbība (A×B)	<0.001	25.6

Vislielākais ietekmes īpatsvars bija ieguves vietai, tā ietekmes intensitāte augsta- 57,9 %, tātad Ni saturu niedru stiebrs ietekmēja Ni saturs ūdenī un sedimentos katrā konkrētajā ūdenstilpnē. Klimatiskie apstākļi Ni saturu sausnā neietekmē, ieguves gada ietekme nebija būtiska un ietekmi uz Ni saturu neatstāja, tātad Ni ir salīdzinoši zema mobilitāte dabas ūdeņos. Ieguves vietas un ieguves gada mijiedarbības faktora ietekmes īpatsvars 25,6 %. Ni saturs būtiski atšķīrās starp dažādos ezeros novāktajām niedrēm, taču tas nevienā no pētāmajiem ezeriem nepārsniedza MPK, līdz ar to var secināt, ka dažādos ezeros iegūtās niedres var jaukt kopā un izmantot kā kurināmo.

Pb saturs niedru biomasā variēja robežās no 0 – 1,81 mg*kg⁻¹, nevienā no pētāmajiem ezeriem tas nepārsniedza MPK. Niedru audžu iznese mūsu pētījumā sastādīja 0-1,27 mg*m⁻²*gads⁻¹, kas variēja plašākā diapazonā nekā niedrēs, kas izmantotas notekūdeņu attīrīšanai (Lesage et al., 2007), kur Pb iznese sastādīja 0,36-0,44 mg*m⁻²*gads⁻¹. Visās pētāmajās ūdenstilpnēs, izņemot Luknas un Ciriša ezerus, Pb saturs niedru biomasā būtiski mainījās atkarībā no pļaušanas gada. Lubānas ezerā Pb niedru biomasā nevienā no gadiem netika konstatēts (18. attēls).

Pb saturs mežizstrādes atliekās sastāda 2-5 mg*kg⁻¹ (Adamovičs u.c., 2009), kas liek secināt, ka Pb saturs niedru biomasā ir zemāks par Pb saturu mežizstrādes atliekās. Pētījumu rezultātu par Pb saturu niedru biomasā divfaktoru dispersijas analīze liecina, ka Pb saturu pētāmajos paraugos būtiski (p<0,001) ietekmēja ieguves vieta, un ieguves vietas un ieguves gada mijiedarbības faktors. Ieguves gada ietekme arī bija būtiska (p<0,05) (6.tabula).



1-Lubānas ezers, 2-Kvāpānu dīķi, 3-Īdeņas dīķi, 4-Luknas ezers, 5-Ciriša ezers, 6-Sīvera ezers, 7- Rušonas ezers, 8-Feimaņu ezers, 9-Rāzņas ezers, 10-Cirmas ezers, 11-L.Ludzas ezers.

18. att. Pb saturs vidējās vērtības ziemā virs ledus pļautā niedru biomasā Latgales reģiona ezeros

6. tabula
Faktoru ietekmes īpatsvars uz Pb saturu niedru biomasā, η %

Faktors	p- vērtība	η %
Ieguves vieta(A)	<0.001	71.9
Ieguves gads(B)	<0.05	1.9
Mijiedarbība (A×B)	<0.001	15.9

Vislielākais ietekmes īpatsvars bija ieguves vietas, kā arī ieguves vietas un ieguves gada mijiedarbības faktoriem, to ietekmes intensitāte bija attiecīgi 71,9 un 15,9 %. Lai arī ieguves gada ietekme bija būtiska, tomēr tā ietekmes īpatsvars salīdzinoši neliels – 1,9 %. Pb saturu niedru biomasā ietekmē Pb saturs katras ūdenstilpnes ūdeņos un sedimentos, ieguves gada ietekme ir zema. Pb saturs būtiski atšķīrās starp dažādos ezeros novāktajām niedrēm, taču tas nevienā no pētāmajiem ezeriem nepārsniedza MPK, līdz ar to var secināt, ka dažādos ezeros iegūtās niedres var jaukt kopā un izmantot kā kurināmo.

Niedru sadedzināšanas rezultātā radušos pelnus var izmantot augsnes mēslošanā. Lai noteiktu maksimālo 5 gadu pelnu devu, ko var izkliegt uz 1 ha augsnes izmantotas smago metālu saturs niedru pelnos maksimālās vērtības, izmantojot notekūdeņu dūņām noteiktās limitējošās smago metālu

satura vērtības. Maksimālais smago metālu saturs niedru pelnos un maksimāli pieļaujamā piecu gadu izkliedes deva parādīta 7. tabulā.

7. tabula

Maksimālais smago metālu saturs niedru pelnos un maksimāli pieļaujamā pelnu izkliedes deva

Limitējošais elements	Saturs niedru pelnos, g*t ⁻¹	Maksimāli pieļaujamā (5 gadu) pelnu izkliedes deva, t*ha ⁻¹	
		smilts, mālsmilts	smilšmāls, māls
Cu	55	18.2	21.8
Cd	0	-	-
Ni	24	10.4	12.5
Pb	19	15.8	18.4

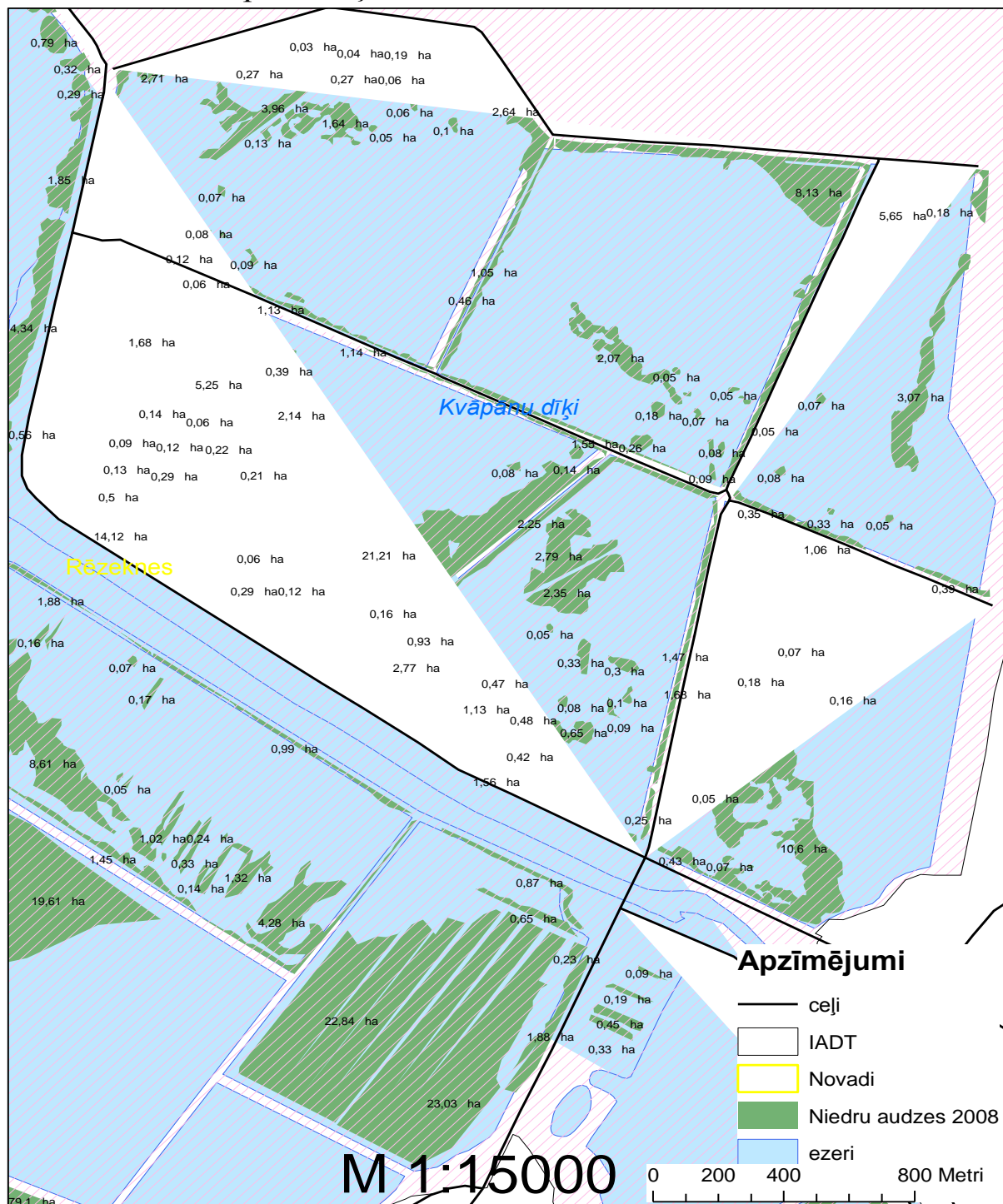
Salmu pelnos Cu saturs ir 23,2 g*t⁻¹, bet Pb saturs 7,7 g*t⁻¹), kas ir aptuveni divas reizes zemāks kā niedru pelnos, taču salmu pelni satur 0,7 g*t⁻¹ Cd (Francescato et al. 2008), kas dabas vidē ir daudz bīstamāks par pārējiem metāliem, bet niedru pelnos Cd netika konstatēts.

Galvenais no pētītajiem smagajiem metāliem niedru pelnos, kas limitē pelnu izkliedes devu augsnē ir Ni, maksimālā piecu gadu deva niedru pelnu izkliedei smilts, mālsmilts augsnē sastāda 10,4 t pelnu uz hektāru, bet smilšmāla un māla augsnēs 12,5 t, kas ir lielāka nekā koksnei, līdz ar to var secināt, ka dedzinot sasmalcinātas niedres kopā ar koksni, maksimālā pelnu izkliedes deva būtu lielāka par koksnes devu, un būtu nepieciešamas mazākas augsnes platības pelnu utilizācijai.

2.6. Latgales reģiona niedru kadastra veidošana

Latvijā nav pilnīgi novērtēts visu AER apjoms, katra atsevišķa enerģijas avota potenciāls un pieejamība ilgtermiņā attiecīgajos reģionos. Lai ilgtermiņā racionāli un pamatoti izmantotu kādu no AER, ir jānovērtē tā pieejamie apjomi un kvalitatīvie parametri (Noviks, Zorins, 2011). Latvijā līdz šim niedres nav pētītas ir veikti atsevišķi pētījumi konkrētiem niedru paraugiem par to īpašībām, un biomasas pirmapstrādes iespējām. Niedru izmantošana siltumenerģijas ieguvei lielākos apjomos nav attīstīta. Kā viens no iemesliem ir informācijas trūkums par niedru resursu izplatību un to īpašībām. Tādēļ rodas nepieciešamība pēc vienotas niedru uzskaites sistēmas- niedru kadastra veidošanas. Niedru kadastrs ir niedru resursu uzskaitījums, kas ietver informāciju par niedru platībām Latvijā, to apjomiem un atrašanās vietu, to juridisko statusu, izmantošanas iespējām, kā arī biomasas īpašībām, katrā konkrētā ūdenstilpnē. Katrai ūdenstilpnei, kas iekļauta niedru kadastrā sastādīta pase un niedru kadastra karte. Informācija par niedru atrašanās vietām katrā konkrētajā ezerā parādīta niedru kadastra kartē, kurā attēlotas ūdenstilpnes robežas, niedru audžu robežas un platības, IADT robežas, novadu robežas, kā arī piebraucamie ceļi (19.attēls). Dati par niedru īpašībām un pieejamajiem apjomiem apkopoti ūdenstilpnes kadastra pasēs. Risinājumi niedru izmantošanai Latvijas apstākļos ir atkarīgi no niedru atrašanās vietas, pieejamajiem apjomiem un esošās infrastruktūras. Niedres ir ilgtspējīgs AER, kura platības ar katru gadu pieaug.

Kvāpānu dīķu niedru audžu kadastra karte



19. att. Kvāpānu dīķu niedru audžu kadastra karte

2.7. Optimālo niedru izmantošanas modeļu izstrāde

Niedru novākšanai var izmantot pieejamās niedru novākšanas mašīnas „Seiga” ar zema spiediena riepām vai kāpurķēžu protektoru, kas var pārvietoties pa mīkstu sniegu un ledu arī piekrautas pilnas, tās uzrāda labus rezultātus pie jumtu niedru novākšanas, taču paralēli jāveic pētījumi un jāizstrādā niedru novākšanas mašīnas, kas būtu piemērota tieši enerģētisko niedru novākšanai, kas uzreiz kopā ar pļaušanu veiktu niedru biomasas pirmapstrādi - smalcināšanu, presēšanu ruļļos vai ķīpās atkarībā no tālākā niedru izmantošanas veida, kas ļautu optimizēt niedru ieguves procesu un samazināt izdevumus. Ideāla novākšanas mašīna peldētu pa ūdens virsmu, pārvietotos pa zemi, mīkstu muklāju un ledu, kā arī nebojātu niedru sakņu sistēmu, taču jāatzīst, ka tehniskie risinājumi niedru savākšanai enerģijas ražošanai pietrūkst.

Izanalizējot pieejamo literatūru un pētījumu rezultātus tika izstrādāta optimālā inženiertehnisko risinājumu niedru biomasas izmantošanai Latvijā shēma (20. attēls) un veikti dažādu niedru izmantošanas veidu ekonomiskie aprēķini. Kopumā niedru izmantošanai Latvijas apstākļos tiek rekomendēti četri galvenie virzieni:

1. Ziemas pļaušana- smalcināšana –sajaukšana ar šķeldu- kurināšana šķeldas apkures katlos.

Nopļautās niedres, sasmalcinot līdz attiecīgajai frakcijai, var pievienot šķeldai un kurināt šķeldas apkures katlos. Optimizējot niedru ieguves tehniku niedru smalcināšana varētu tikt veikta vienlaicīgi ar to ieguvi. Ziemā pļautu niedru mitrums ir zemāks nekā šķeldai (15-20%), tāpēc tā uzlabos šķeldas degšanas procesu, tikai jāizpēta katrai konkrētajai siltuma ražošanas iekārtai optimālā smalcināto niedru frakcija un cik daudz niedru var piejaukt šķeldai, lai tiktu nodrošināts nepārtraukts degšanas process. Šis modelis piemērojams vietās, kur netālu no esošajām šķeldas katlumājām pieejamas nozīmīgas niedru platības, piemēram, Ludzas pilsētas centralizētajā siltumapgādē tiek izmantota šķelda un līdzās atrodas ievērojamas niedru platības, kurās iegūtās niedres var tikt izmantotas kā papildus kurināmās. Ar niedru novākšanu varētu nodarboties pašvaldību uzņēmumi, kas nodrošina siltumapgādi izmantojot šķeldu pašvaldībai piederošajās ūdenstilpnēs, vai arī līgumdarbinieki, kas nodarbotos ar niedru ieguvi un sagatavošanu un piegādātu tās katlumājām.

2. Ziemas pļaušana- presēšana ruļļos vai ķīpās- piegāde granulu rūpnīcai-ruļļu smalcināšana- niedru piejaukums kokskaidu granulām

Niedru pirmapstrāde (presēšana ruļļos vai ķīpās), ļauj tās nogādāt arī lielākos attālumos līdz granulu rūpnīcām, kur tās varētu piejaukt kokskaidu granulām attiecīgajās devās, kas būtiski nepasliktinātu kokskaidu granulu kvalitāti. Tā kā pētījumi rāda, ka novākšanas vieta būtiski ietekmē niedru biomasas īpašības un kvalitāti, tad piegādājot niedres no dažādām vietām jāveic gatavās produkcijas pārbaudes uz atbilstību granulu prasībām.

Tāpat jāveic pētījumi par to, cik daudz niedru biomasas var piejaukt kokskaidu granulām, lai nepasliktinātu to kvalitāti zem noteiktajām prasībām un nodrošinātu stabilu degšanas procesu, jo kā liecina citu autoru pētījumi dedzinot niedru granulas rodas problēmas ar degšanas procesa automatizāciju augstā pelnu satura un pelnu īpašību dēļ (Reed..., 2007) līdz ar to granulu, kas ražotas tikai no niedru biomasas, dedzināšana, pie esošajām sadedzināšanas iekārtām ir problemātiska. Ar niedru novākšanu un piegādi granulu ražotājiem varētu nodarboties līgumdarbinieki.

3. Ziemas pļaušana-presēšana ruļļos- ruļļu dedzināšana kopā ar salmiem salmu apkures katlos

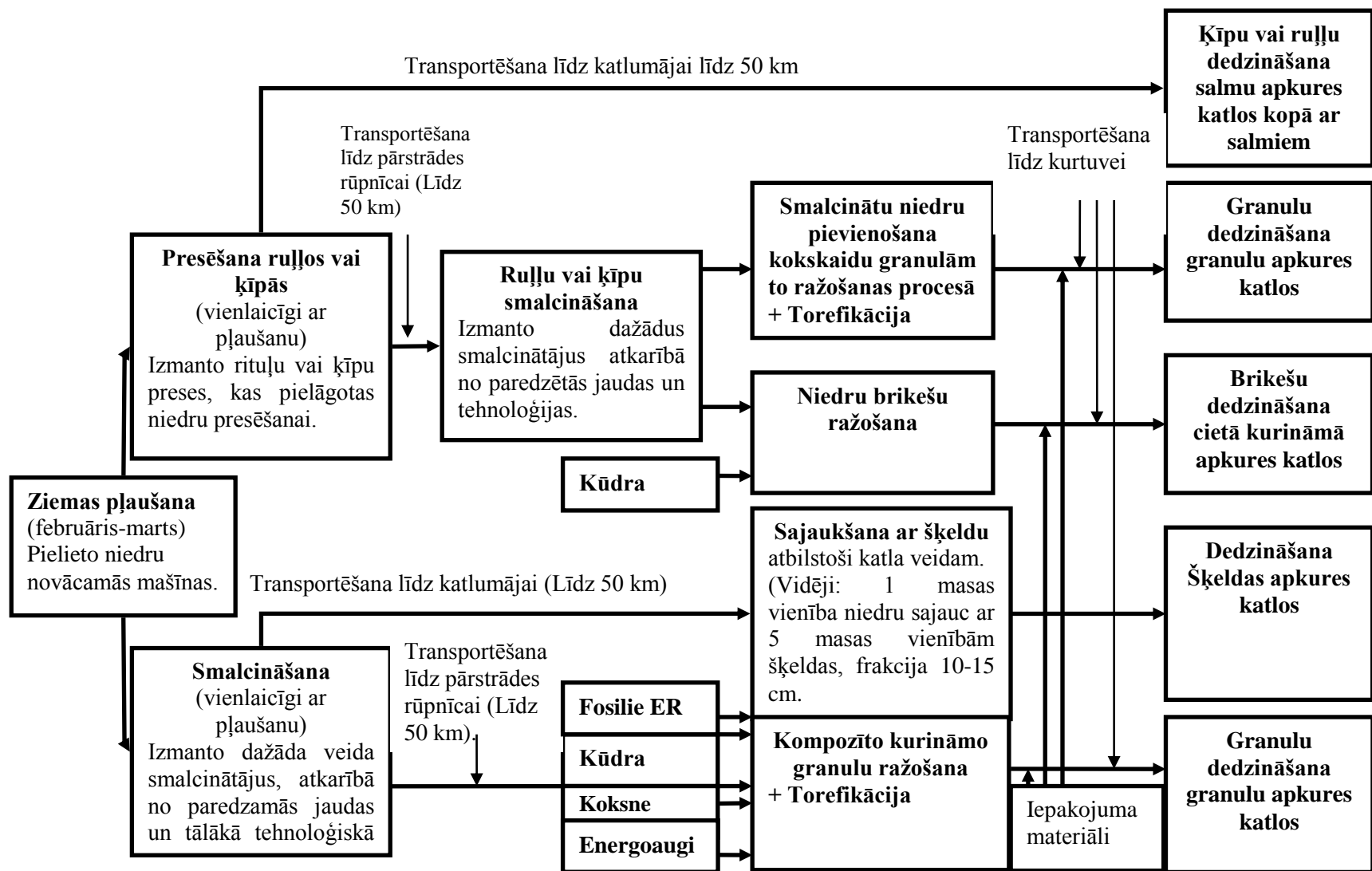
Šis modelis prasa vismazāko pirmapstrādi pie niedru sagatavošanas dedzināšanai, tāpēc varētu būt ekonomiski visizdevīgākais. Niedres novākšanas procesā tiktu presētas ruļļos vai ķīpās un piegādātas katlumājām.

Modelis piemērojams vietās, kur netālu no esošajām ar salmiem kurināmajām katlumājām pieejamas nozīmīgas niedru platības. Ar niedru novākšanu varētu nodarboties pašvaldību uzņēmumi, kas nodrošina siltumapgādi izmantojot šķeldu pašvaldībai piederošajās ūdenstilpnēs, vai arī līgumdarbinieki, kas nodarbotos ar niedru ieguvī un sagatavošanu un piegādātu tās katlumājām.

Katrai niedru ieguves vietai piemērotākais niedru ieguves modelis ir jāizvērtē, balstoties uz pieejamo ieguves tehniku, iegūstamajiem niedru apjomiem, to īpašībām un infrastruktūras pieejamību. Niedru biomasa ir jāizmanto kā papildus enerģijas avots, kas, nepieciešamības gadījumā, var tikt aizstāts ar citiem enerģijas avotiem gados, kad niedres novākt neizdodas.

4. Ziemas pļaušana- smalcināšana –kompozīto kurināmo granulu vai brikešu ražošanas -dedzināšanas granulu vai cietā kurināmā apkures katlos.

Ziemā pļautās niedres sekmīgi var pārstrādāt sajaucot tās ar citiem biomasas veidiem-energoaugiem, koksni, kūdru un arī fosilajiem energoresursiem, veidojot kompozītos kurināmos, ar labākām siltumtehnikajām īpašībām nekā tas ir no vienām pašām niedrēm ražotam kurināmajam. Papildus pielietojot torefikācijas procesu, tiek veidots augstvērtīgs kurināmais ar augstu siltumspēju un nelielu dūmainību. Šādu kurināmo iespējams transportēt arī lielos attālumos, pat ārpus Latvijas robežām. Dažādu kompozīto kurināmo izveide, ietverot tajos niedru biomasu, ir jāpēta. Šķeldas iepirkuma cena 2013.gada sākumā sastādīja ap 6 Ls ber.m⁻³, viena ber.m⁻³ sadegšanas siltums koksnes šķeldai vidēji sastāda ap 0,75 Mwh (Lazdāns u.c., 2009). Piemērojot niedru šķeldu cenu koksnes šķeldu cenai, pēc tajās koncentrētā siltuma daudzuma, niedru šķeldu iepirkuma cena sastādītu 30,95 Ls*t⁻¹, kas pārsniedz niedru šķeldu ražošanas pašizmaksu transportējot iegūstamo šķeldu līdz 40 km (23,89 Ls*t⁻¹). Ir iespējams novākt niedres ar tradicionālo lauksaimniecības tehniku, ja ledus ir pietiekami biezs, vai arī, ja novākšana notiek sausuma periodā, kur niedru audzes aug uz cieta pamata. Niedru biomasas izmaksas pielietojot piemērotu lauksaimniecības tehniku presējot niedres ruļļos un transportējot līdz 40 km sastāda 27,03 Ls*t⁻¹.



20. attēls. Rekomendējamie inženiertehniskie risinājumi niedru izmantošanai enerģijas ieguvei Latvijas apstākļos

SECINĀJUMI UN REKOMENDĀCIJAS

Darba zinātniskie rezultāti un to novitāte.

1. Pirmo reizi Latvijā veikti niedru audžu dinamikas pētījumi. Konstatēts, ka niedres ir ilgtspējīgs resurss, niedru audžu platības Latvijas ezeros un dīķsaimniecībās ar katru gadu palielinās, ūdenstilpņu aizaugšanas intensitāte pētāmajos ezeros variēja no 0 līdz $1,32 \text{ \%*gads}^{-1}$. Ūdenstilpņu aizaugšanas intensitāte lielāka ir sekļajās ūdenstilpnēs ar vidējo dziļumu līdz 0,5 m- pieaugot ūdenstilpnes vidējam dziļumam, aizaugšanas intensitāte samazinās.
2. Izpētīti faktori, kuri potenciāli var ietekmēt niedru produktivitāti un niedru audžu kā enerģētisko resursu kvalitātes rādītājus. Atrastas sakarības starp niedru produktivitāti un ūdens fizikāli ķīmiskajiem un ekoloģiskajiem parametriem. Konstatēts, ka iegūstamais sausnas daudzums pieaug, palielinoties kopējā slāpekļa un kopējā fosfora koncentrācijai ūdenī, bet samazinās, samazinoties ūdens caurredzamības pēc sekli diska vērtībai.
3. Eksperimentāli pierādīta niedru kvalitātes rādītāju atbilstība siltumenerģijas ieguvei. Pavasara periodā novāktu niedru zemākais sadegšanas siltums vidēji sastāda $3,92 \text{ MWh*t}^{-1}$. Noteiktas niedru siltumspējas sakarības ar mitruma, pelnu un organiskās daļas saturu. Noteicošā ietekme uz zemāko sadegšanas siltumu ir mitruma saturam niedrēs. Pavasara periodā pļautām niedrēm tas vidēji sastāda ap 17 %, un ir atkarīgs no klimatiskajiem apstākļiem niedru novākšanas laikā. Niedru mitruma saturs ir atbilstošs to dedzināšanai bez iepriekšējas žāvēšanas.
4. Niedru biomasas pelnu saturs vidēji sastāda 5%. Klimatisko apstākļu ietekme uz niedru pelnu saturu ir vāja, galvenais pelnu saturu ietekmējošais faktors ir dažādu ķīmisko elementu saturs ūdenī un nogulsnēs. Pelnu saturs ir stabils vienas ūdenstilpnes robežās.
5. Lignīna saturs niedru biomasā svārstās robežās no 21-26%, kas ir tuvs lignīna saturam koksnē. Niedres ir piemērotas dažādu presēto kurināmo sagatavošanai bez papildus saistvielu pievienošanas. Niedru biomasā ir viegli uzliesmojošs kurināmais ar augstu gaistošo vielu saturu. Klimatisko apstākļu ietekme uz lignīna un gaistošo vielu saturu ir vāja, šie rādītāji būtiski nemainās atkarībā no ieguves gada.
6. Smago metālu saturs biomasā atkarīgs no to satura ezera ūdeņos un nogulsnēs, un ir atbilstošs kurināmā ražošanas prasībām.

7. Tā kā atjaunojamo enerģētisko biomasas resursu ilgtspējīgums ir atkarīgs no to izmantošanas intensitātes ietekmes uz atražošanas spēju, izpētīta niedru audžu ražīguma un kvalitātes parametru atkarība no to pļaušanas intensitātes. Pierādīts, ka īstermiņa pļaušana (1-2 gadi), neatstāj būtisku ietekmi ($p > 0,05$) uz niedru audžu produktivitāti. Iegūstamais biomasas daudzums samazinās par aptuveni 50% tikai ilgtermiņa pļaušanas rezultātā (vairāk kā 10 gadu). Lignīna un pelnu saturs nav atkarīgs no pļaušanas intensitātes.

Darba praktiskie rezultāti.

1. Darbā iegūtie dati par niedru kā enerģētiskā avota potenciālu Latvijā dod iespēju projektēt niedru ieguves un pārstrādes uzņēmumus un optimizēt to izvietojumu. Kopējā niedru platība 116 lielākajās Latvijas ūdenstilpnēs sastāda ap 13 400 ha. Kopējais niedru biomasas potenciāls sastāda ap 68000 t sausnas gadā. Optimālais iegūstamais maksimālais biomasas daudzums sastāda ap 32000 t sausnas gadā. Kopējais niedru energopotenciāls Latvijā ir ap 0,55 PJ gadā.
2. Nozīmīgākās niedru audzes Latvijā iedalītas 13 zonās. Pēc pieejamo resursu daudzuma tās sarindojas sekojošā secībā- Engures ezers, Papes ezers, Lubānas bloks, Liepājas un Tosmares ezeri, Rušonas bloks, Babītes ezers, Burtnieku ezers, Kaņiera ezers, Rāznas ezers, Ludzas bloks, Ķīšezers, Lobes ezers, Lielauces ezers.
3. Izstrādāti kritēriji un sastādīts niedru resursu kadastrs Latgales reģiona nozīmīgākajām niedru ieguves vietām, kas sniedz informāciju par konkrētās ūdenstilpnes niedru resursu apjomiem, atrašanās vietu, infrastruktūru, niedru audzes raksturojošajām un termiskajām īpašībām, kā arī izstrādāti optimālie niedru izmantošanas inženiertehniskie risinājumi, kas var kalpot par pamatu ar niedru ieguvi un pārstrādi saistītu uzņēmumu radīšanai. Veikti ekonomiskie aprēķini niedru izmantošanai Rēzeknes pilsētai.
4. Sastādīti vienādojumi niedru produktivitātes noteikšanai balstoties uz datubāzēs pieejamajiem ūdenstilpņu piesārņojuma monitoringa datiem, un vienādojumi niedru biomasas zemākā sadegšanas siltuma aprēķināšanai atkarībā no mitruma un pelnu satura, kā arī oglekļa satura tajā.
5. Niedru pelni var tikt utilizēti, iestrādājot augsnē. Noteiktas maksimālās piecu gadu izkliedes devas niedru pelniem, izkliedējot tos dažādās augsnēs.

6. Iegūstamās biomasas daudzuma novērtēšanai tiek piedāvāta metodika, kas balstās uz sakarību starp niedru produktivitāti un ūdens caurspīdīgumu pēc Seki diska.

Rekomendācijas.

1. Galvenie ieteicamie virzieni niedru izmantošanai enerģijas ražošanā ir sajaukšana ar šķeldu un kurināšana šķeldas apkures katlos, granulu un brikešu ražošana veidojot dažādus kompozītkurināmos, kā arī niedru ķīpu dedzināšana salmu apkures katlos.
2. Niedru biomasu enerģijas ražošanai jāiegūst ziemas periodā pļaujot pārkoksnējušās niedres virs ledu, vasaras pļaušana pieļaujama tikai vietās, kur nepieciešams niedru audzes ierobežot vai iznīcināt. Ieguve jāveic katru gadu citā vietā, ļaujot niedru audzēm vismaz vienu gadu atjaunoties, kas nodrošinās ilgtspējīgu niedru biomasas izmantošanu un produktivitātes saglabāšanos. Vienā sezonā pieļaujams novākt līdz 50 % no kopējām niedru platībām. Vispiemērotākais laiks niedru pļaušanai ir laika periods no februāra līdz martam, kad ir visbiezākā ledus sega un niedrēm ir zems mitruma saturs (14-19%).
3. Niedru biomasas ieguve ir saistīta ar klimatiskajiem apstākļiem, var rasties situācija, ka niedru novākšana kādā ziemā nav iespējama, līdz ar to nav iespējams garantēt niedru biomasas piegādes attiecīgajos apjomos. Tas nozīmē, ka niedru izmantošanas tehnoloģijas enerģijas ražošanā katlumājās un pārstrādes uzņēmumos ir jāveido kompleksā ar citiem biomasas veidiem- koksni vai energoaugiem.
4. Pašreiz niedres tiek pļautas būvniecības vajadzībām ar mašīnām, kas sasiens tās kūļos. Esošā niedru ieguves tehnoloģija jāoptimizē atbilstoši enerģētisko niedru ieguvei. Tāpat nepieciešami niedru novākšanas tehniskie risinājumi, kas nodrošinātu niedru ieguvi arī siltās ziemās un bezledus periodā.
5. Balstoties uz pētījuma rezultātiem, tika sastādīts niedru kadastrs lielākajām Latgales reģiona ūdenstilpnēm. Ir jāturpina pētījumi un jā sastāda kadastrs arī citās Latvijas niedru ieguvei nozīmīgajās vietās.
6. Niedrēm ir salīdzinoši augsts pelnu saturs un pelni negatīvi ietekmē degšanas procesus, tāpēc, lai tās sekmīgi dedzinātu dažāda veida cietās biomasas katlos, jāveic šo katlu piemērošana tieši niedru dedzināšanai.
7. Niedru biomasas izmantošanas lietderīguma vērtējumam jābalstās uz komplekso ekoloģiski ekonomisko aprēķinu pamata, ņemot vērā, tai skaitā, to ieguves devumu bioloģiskās daudzveidības saglabāšanā un SEG emisiju atmosfērā samazinājumā.

IZMANTOTO LITERATŪRAS AVOTU SARAKSTS

1. Adamovičs A., Dubrovskis V., Plūme I., Jansons Ā., Lazdiņa D., Lazdiņš A. (2009) Biomasas izmantošanas ilgtspējības kritēriju pieļietošana un pasākumu izstrāde, Valsts SIA Vides projekti, Rīga, 1.-172.lpp.
2. Ali N.A., Bernal M.P., Ater M.(2002) Tolerance and bioaccumulation of copper in *Phragmites australis* and *Zea mays*, *In: Plant and Soil* 239, p.103–111.
3. Arhipova I., Bāliņa S.(2006) Statistika ekonomikā. Risinājumi ar SPSS un Microsoft Excel. 2.izdevums. Rīga: Datorzinību centrs, 352. lpp.
4. Cars A.(2008) Energoresursi, Rīga, 12-102 lpp.
5. Čubars E. (2008) Lubānas ezera niedru resursu izvērtējums un to izmantošanas enerģijas ieguvei pamatojums. *Zinātniskais darbs maģistra grāda ieguvei*. Rēzeknes Augstskola, Inženieru fakultāte. Zin.vad. Gotfrīds Noviks. Rēzekne, 70 lpp.
6. Доспехов Б. А. (1985) Методика полевого опыта. Агропромиздат, Москва, 351 с.
7. Douglas, C., G. Montgomery and C. Runger (2003) Applied Statistics and Probability for Engineers, Arizona State University 2003, p.140.-258.
8. Duman F., Cicek M., Sezen G. (2007) Seasonal changes of metal accumulation and distribution in common club rush (*Schoenoplectus lacustris*) and common reed (*Phragmites australis*). *In: Ecotoxicology* 16, p. 457–463.
9. Enerģētisko augu audzēšana un izmantošana (2007) Adamovičs A., Agapovs J., Aršanica A. u. c. Valsts SIA „Vides projekti”, Rīga, 43-133. lpp.
10. EWN- : Lake quality data, LVĢMC monitoringa dati, [tiešsaiste] (25.02.2013.) Pieejams: <http://cdr.eionet.europa.eu/lv/eea/ewn2>.
11. Francescato V., Antonini E., Bergomi L.Z. (2008) Wood fuels handbook, Italian Agroforestry Energy Association.p.1-83.
12. Grisey E., Laffray X., Contor O. et.all. (2012) The Bioaccumulation Performance of Reeds and Cattails in a Constructed Treatment Wetland for Removal of Heavy Metals in Landfill Leachate Treatment (Etueffont, France). *In: Water Air Soil Pollut* 223, p.1723–1741.
13. Huhta A. (2009) Decorative or outrageous- the significance of the common Reed (*Phragmites australis*) on water quality. Comments from Turku University of applied sciences 48, p. 25-27.

14. Koksnes ķīmijas pamati (2008), Zaķis G., LV Koksnes ķīmijas institūts, 2008, 199 lpp.
15. Komulainen M., Simi P.,Hagelberg E., Ikonen I., Lyytinen S. (2008) Reed energy-Posibilities of using the Cammon Reed for energy generation in Southern Finland. *In: Turku university of applied sciences reports 67*. p.5-75.
16. Kozłowska M., Jozwiak A., Szpakowska B., Golinski P., (2009) Biological aspects of Cadmium and Lead uptake by Phragmites Australis (Cav.Trin Ex staudel) in natural water ecosystems. *In: Journal Elementol 14(2)*, p.304-310.
17. Krolikowska J. (1997) Eutrophication processes in a shallow, macrophyte-dominated lake – species differentiation, biomass and the distribution of submerged macrophytes in Lake Łuknajno (Poland) *In: Hydrobiologia 342/343*, p. 411–416
18. Kronbergs A., Kronbergs E.,Siraks E., Dalbins J. (2012) Cutting properties of arranged stalk biomass *In: Proceedings of the International Scientific Conference „Renewable Energy and Energy Efficiency”*, p. 145.
19. Kronbergs E., Šmits M. (2009) Cutting properties of common Reed biomass. *In: 8th international scientific conference “Engineering for rural development”*, May 28.-29., Jelgava, Latvia, p.207.
20. Latvijas ezeru datubāze (2012)- [tiešsaiste][17.11.2011] Pieejams: <http://www.ezeri.lv/database/AdvancedSearch>
21. Lasage E., Rousseau D.P.L., Meers E. Et.all. (2007) Accumulation of Metals in the Sediment and Reed Biomass of a Combined Constructed Wetland Treating Domestic Wastewater. *In: Water Air Soil Pollut 183*, p.253–264.
22. Lazdāns V., Lazdiņš A., Zimelis A (2009) Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģija no mežistrādes atliekām kailcirtes izstrādāšanā egļu mežaudzēs. No: *Mežzinātne 19(52)*, 109-121. lpp.
23. Madison M., Soosaar K., Muring T., Mander U. (2009) The biomass and nutrient and heavy metal content of cattails and reeds in wastewater treatment wetlands for the production of construction material in Estonia. *In: Desalination 247*, p.123-128.
24. Meuleman A., Beekman J., Verhoeven T. (2002) Nutrient retention and nutrient-use efficiency in Phragmites australis stands after wasterwater application. *In: Wetlands, Vol. 22, No.4* p.712-721.

25. Niedru biomasas izmantošanas iespējas biogāzes un organiskā mēslojuma ražošanai Papes ezera apkārtnē (2011) Plūme I., Dubrovskis V., Valsts SIA „Vides projekti”, Rīga, 26. lpp.
26. Poiša L., Adamovičs A., Platače R., Teirumnieka Ē. (2011) Evaluation of the factors that affect the lignin content in the reed canarygrass (*Phalaris arundinacea* L.) in Latvia. *In: Proceedings of World renewable energy Congress 2011- Sweden, 8-13 May 2011, Linkoping Sweden – [tiešsaiste][29.06.2012]pieejams:*
http://www.ep.liu.se/ecp/057/vol1/030/ecp57vol1_030.pdf
27. Reed up on Reed (2007) Ikkonen I., Roosaluuste E., Pitkanen T.at.al. Southwest Finland regional Environment centre, Turku 2007. , p. 5-115.
28. Romero J.A., Brix H., Comin F.A. (1999) Interactive effects of N and P on growth, nutrient allocation and NH₄ uptake kinetics by *Phragmites australis*. *In: Aquatic Botany* 64, p. 369–380.
29. Sanderson, M.A., Adler, P.R. (2008) Perennial Forages as Second Generation Bioenergy Crops. *In: International Journal of Molecular Sciences*, 9 (5), p. 768-788, [tiešsaiste] (25.01.2010.) Pieejams: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2635706/>
30. Slepetyš J., Kadziulienė Z., Sarunaite L., Tilvikiene V., Kryzeviciene A. (2012) biomass potential of plants grown for bioenergy production. *In: Proceedings of the international scientific conference Renewable energy and energy efficiency*, Jelgava, p.66-72.
31. Thermal properties of green polymers and biocomposites (2005), Hatakeyama T., Hatakeyama H. Hot topics of in thermal Analysis and calorimetry. *In: ACS symo. Ser. Volume 4*, p.171-215.
32. Торохова О.Н., Глухов А.З., Арешков М.А., Агурова И.В. (2009) Изменчивость морфометрических параметров тростника обыкновенного и рогоза узколистного в искусственных водоемах промышленной зоны г. Горловки. б: *Промышленная ботаника. 2009, вып. 9*, ст. 82.
33. Valkama E., Lyytinen S., Koricheva J. (2008) The impact of reed management on wildlife: A meta-analytical review of European studies. *In: Biological conservation* 141, p.371.-373.
34. Windham L., Lathrop L. (1999) Effects of *Phragmites australis* (Common Reed) Invasion on Aboveground Biomass and Soil Properties in Brackish Tidal Marsh of the Mullica River, New Jersey. *In: Estuaries Vol. 22, No. 4*, p. 927-935.