

Antra Kalnbaļķīte

ILGTSPĒJĪGA VIDES INŽENIERIJAS IZGLĪTĪBAS ATTĪSTĪBA

Promocijas darba kopsavilkums



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultāte
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

Antra Kalnbalkīte

Doktora studiju programmas “Vides inženierija” doktorante

ILGTSPĒJĪGA VIDES INŽENIERIJAS IZGLĪTĪBAS ATTĪSTĪBA

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskās vadītājas:
profesore *Dr. habil. sc. ing.*
DAGNIJA BLUMBERGA,

profesore *Dr. sc. ing.*
JEĻENA PUBULE

RTU Izdevniecība
Rīga 2023

Kalnbaļķīte, A. Ilgtspējīga vides inženierijas izglītības attīstība. Promocijas darbs. Rīga: RTU Izdevniecība, 2023. 51 lpp.

Iespiests saskaņā ar promocijas padomes "RTU P-19" 2023. gada 9. jūnija lēmumu, protokols Nr. 172.

<https://doi.org/10.7250/9789934229800>
ISBN 978-9934-22-980-0 (pdf)

Promocijas darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu darbības programmas «Izaugsme un nodarbinātība» 8.2.2. specifiskā atbalsta mērķa «Stiprināt augstākās izglītības institūciju akadēmisko personālu stratēģiskās specializācijas jomās» projektā Nr. 8.2.2.0/20/I/008 «Rīgas Tehniskās universitātes un Banku Augstskolas doktorantu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās».



NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
Eiropas Reģionālās
attīstības fonds

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2023. gada 3. novembrī plkst. 14:00 Rīgas Tehniskās universitātes Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 115. auditorijā.

OFFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. ing.* Gatis Bažbauers,
Rīgas Tehniskā universitāte

Profesors *Ph. D. Saulius Vasarevičius*,
Viļņas Ģedimina tehniskā universitāte, Lietuva

Asociētā tenūrprofesore *Dr. sc. ing.* Anna Volkova,
Tallinas Tehnoloģiju universitāte, Igaunija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Antra Kalnbaļķīte (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs izstrādāts latviešu valodā. Tajā ir ievads, trīs nodaļas, secinājums, 39 attēli, 33 tabulas. Kopējais lappušu skaits ir 230. Literatūras avotu sarakstā ir 262 nosaukumi.

SATURS

IEVADS.....	5
Promocijas darba aktualitāte.....	5
Darba mērķis un uzdevumi.....	5
Pētījuma hipotēze.....	6
Zinātniskā novitāte.....	6
Praktiskā novitāte.....	6
Pētījuma aprobācija.....	7
Zinātniskās publikācijas.....	8
Promocijas darba struktūra.....	9
1. METODOLOĢIJA.....	11
1.1. Daudzkritēriju lēmumu analīzes metode.....	11
1.2. Studiju programmu vērtēšanas metode.....	12
1.3. Veiktspējas metode.....	13
Veiktspējas metode kombinācijā ar tehnoloģijas gatavības līmeni.....	13
1.4. Bibliometriskā metode.....	14
1.5. Sistēmdinamikas metode.....	15
1.6. Kvalitatīvās pētniecības metodes vides inženierijā.....	16
Bioekonomikas integrācija. Blakusprodukti.....	16
Bioekonomikas risinājumi. Tehnoloģijas.....	17
Energoresursu pieprasījumu puses pārvaldība.....	18
2. REZULTĀTI UN DISKUSIJA.....	21
2.1. Ranžēšanas modulis.....	21
2.2. Inovatīvs studiju procesa modulis.....	24
Vides inženierijas studiju modulis.....	25
Bioekonomikas studiju modulis.....	30
2.3. Koprades īstenošanas modulis.....	33
Cilvēkresursu kapacitāte.....	34
Inovācijas.....	34
Vērtēšana.....	35
2.4. Uzvedības modulis.....	37
2.5. Diplomātisko attiecību modulis.....	39
2.6. Tālmācības modulis.....	41
2.7. Zinātniskās pētniecības modulis.....	42
Bibliometriskās analīzes modulis.....	43
Bezatlikumu produktu ranžēšanas modulis.....	45
Bezatlikumu tehnoloģiju ranžēšanas modulis.....	47
Energoresursu lietotāja pārvaldības modulis.....	48
SECINĀJUMI.....	50

IEVADS

Promocijas darba aktualitāte

Vides izglītībai ir izšķiroša nozīme ilgtspējīgā attīstībā un Zaļā kursa mērķu sasniegšanā attiecībā uz klimatneitralitāti. Ilgtspējīgas un resursu ziņā efektīvas attīstības jomā vides izglītība ieņem vadošo pozīciju. Zaļās inovācijas un esošo tehnoloģiju pārveidi var īstenot, izmantojot izglītību un pārveides zināšanas, lai veidotu ilgtspējīgu sabiedrību. Lai sekmīgi ieviestu ilgtspējīgas tehnoloģijas, augstākās izglītības absolventiem, darba ņēmējiem, uzņēmējiem un politikas veidotājiem ir nepieciešamas jaunas prasmes, pamatojoties uz pārskatītu intelektuālās pilnveidošanās modeli un zināšanās balstītu tehnoloģiju inovāciju. Intelektuālais kapitāls, kas iegūts, izmantojot zināšanām balstītu bioekonomiku, kļuvis izšķirošs Eiropas Savienības attīstības programmā. Tāpēc bioekonomikas īstenošana Eiropā būs tieši saistīta ar izglītību un pētniecību.

Zaļajā kursā Eiropas dalībvalstīm ir noteikti vērienīgi mērķi: līdz 2050. gadam panākt klimatneitralitāti, īpašu uzmanību pievēršot daudzām nozarēm, kurām ir izšķiroša nozīme tā vērienīgo mērķu sasniegšanā: tīra enerģija; ilgtspējīga rūpniecība; būvniecība un renovācija; ilgtspējīga mobilitāte; bioloģiskā daudzveidība; “no lauka līdz galdam”; piesārņojuma novēršana. Zaļā kursa un bioekonomikas mērķu īstenošana būtu jāuztver no sistemātiskas perspektīvas, ņemot vērā dažādas ieinteresēto personu grupas. Videi nekaitīgāku tehnoloģiju radīšana ietver tehnoloģiskās iespējas, izmantojot labi sagatavotus augstas kvalitātes cilvēkresursus, aprīkojumu un laboratorijas, un tai ir nepieciešama uz inovācijām orientēta mācīšanās un īpašu prasmju apguve.

Vides izglītībai, tostarp akadēmiskajai augstākajai izglītībai, mūžizglītībai un zinātniskajai jaunradei, būtu jāpielāgojas dažādu rūpniecības nozaru mainīgajiem apstākļiem, tā būtu jāpārvērtē, lai nodrošinātu attiecīgus apmācības un mācīšanās apstākļus, metodes, stratēģijas un iegūtās prasmes un kompetences. Jāizstrādā jauna izglītības procesa novērtēšanas metodoloģija, kas balstīta dažādu metožu kombinācijā.

Darba mērķis un uzdevumi

Lai izpildītu Eiropas Savienības definētos mērķus, ir jāsaprot ilgtspējīgas izglītības attīstības virzieni, novērtējot esošo situāciju un potenciālās iespējas vides inženierzinātnes attīstībai.

Lai sasniegtu pētījuma mērķi, tika noteikti šādi uzdevumi:

- 1) analizēt un izvērtēt akadēmiskās augstākās izglītības esošo situāciju un potenciālās iespējas vides inženierijas studiju programmu īstenošanai, izmantojot inovatīvas metodes, līdzekļus un rīkus;
- 2) izstrādāt mūžizglītības studiju ietvaru Zaļā kursa un klimatneitralitātes mērķu sasniegšanai, veicinot kopradi, veiktspēju un politikas integrēšanu;

- 3) integrēt zinātnisko jaunradi, lai nostiprinātu kompetencē un zināšanās balstītu ilgtspējīgu augstāko izglītību, nodrošinot inovatīvu ideju attīstību un komercializāciju.

Pētījuma hipotēze

Daudzpusīgu metožu izmantošana ir vajadzīga pastāvīgai zināšanās un kompetencēs balstītai ilgtspējīgai vides inženierijas izglītības novērtēšanai un analizēšanai trijos līmeņos: akadēmiskās augstākās izglītības; mūžizglītības; zinātniskās jaunrades.

Zinātniskā novitāte

Ar sešu dažādu matemātisko instrumentu (daudzkritēriju lēmumu analīzes, studiju programmu vērtēšanas, veiktspējas, bibliometriskās, sistēmdinamikas, veiktspējas, kvalitatīvās pētniecības) palīdzību ir izstrādāti, analizēti un aprobēti septiņi moduļi, ar kuriem vērtēt vides inženierijas izglītības ilgtspējīgas attīstības potenciālu un iespējas:

- 1) ranžēšanas modulis;
- 2) inovatīvs studiju procesa modulis;
- 3) koprades īstenošanas modulis;
- 4) uzvedības modulis;
- 5) diplomātisko attiecību modulis;
- 6) tālmācības modulis;
- 7) zinātniskās inovācijas pārneses modulis.

Praktiskā novitāte

Promocijas darbam ir liela praktiska nozīme Latvijas un Eiropas kontekstā, jo tas ilustrē vides inženierijas iespējas iesaistīt plašu speciālistu loku, kuriem nepieciešamas šīs zināšanas visās tautsaimniecības nozarēs un sabiedrības slāņos, sākot no indivīda līdz uzņēmumu, pašvaldību un valdības līmenim. Pētījums sniedz praktiskus priekšlikumus vides inženierijas izglītības pilnveidei visās trīs dimensijās:

- 1) akadēmiskā augstākā izglītība – studiju programmas tiek īstenotas Rīgas Tehniskajā universitātē un var tikt izmantotas ilgtspējīgas zināšanās un kompetencēs balstītas augstākās izglītības attīstībai nākotnē dažādās studiju programmās arī citās universitātēs;
- 2) mūžizglītība – ir svarīga uzņēmējiem un darbiniekiem, kas meklē jaunas prasmes un kompetences;
- 3) zinātniskā jaunrade – ir pamats inovāciju attīstībai, lai radītu inovatīvas tehnoloģijas, attīstītu jaunuzņēmumus, rosinātu inženierzinātņu izpēti doktorantūras studijās un pētniecībā vides inženierijas jomā Latvijā un Eiropā.

Pētījuma aprobācija

Promocijas darba rezultāti prezentēti deviņās konferencēs un 11 zinātniskajās publikācijās. Pētījuma rezultāti ir apspriesti un prezentēti vairākās konferencēs.

1. Kalnbaļķīte, A., Pubule, J., Blumberga, D. Education for Advancing the Implementation of the Green Deal Goals for Bioeconomy // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies – CONECT 2022, Riga Technical University, 2022.
2. Kalnbaļķīte, A., Červinska, E., Blumberga, A., Pubule, J. Development of Massive Online Open Course 'Energy Transition and Climate Change' // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies – CONECT 2022, Riga Technical University, 2022.
3. Kalnbaļķīte, A., Vēciņa, A., Žihare, L., Rozakis, S., Blumberga, D. Biodiplomacy Attractiveness in Bioeconomy Education. Case Study // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies – CONECT 2021, Riga Technical University, 2021.
4. Kalnbaļķīte, A., Patel, N., Blumberga, D. An Analysis of the Extraction Technologies: Fruit Peel Waste Study // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies – CONECT 2021, Riga Technical University, 2021.
5. Kalnbaļķīte, A., Zlaugotne, B., Žihare, L., Balode, L., Khabdullin, A., Blumberga, D. Multi-Criteria Decision Analysis Methods Comparison // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies – CONECT 2020, Riga Technical University, 2020.
6. Kalnbaļķīte, A., Pubule, J., Blumberga, A., Rozakis, S., Vēciņa, A., Blumberga, D. Education for Advancing the Implementation of the Bioeconomy Goals: An Analysis of Master Study Programmes in Bioeconomy // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies – CONECT 2020, Riga Technical University, 2020.
7. Kalnbaļķīte, A., Pubule, J., Teirumnieka, Ē., Blumberga, D. Evaluation of the Environmental Engineering Study Programme at University // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies – CONECT 2019, Riga Technical University, 2019.
8. Rozentāle, L., Kalnbaļķīte, A., Blumberga, D. Aggregator as a New Electricity Market Player: (Case Study of Latvia) // 2020 IEEE 61st Annual International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON 2020).
9. Valtere, M., Kalēja, D., Kudurs, E., Kalnbaļķīte, A., Terjaņika, V., Zlaugotne, B., Pubule, J., Blumberga, D. The Versatility of the Bioeconomy. Sustainability Aspects of the Use of Bran. // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies – CONECT 2021, Riga Technical University, 2021.

10. Gerinoviča, S., Blumberga, D., Kalnbalkīte, A., Vēciņa, A. To Be, or Not to Be – the Question of Forestry Resources in Bio-Diplomacy // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies – CONECT 2021, Riga Technical University, 2021.

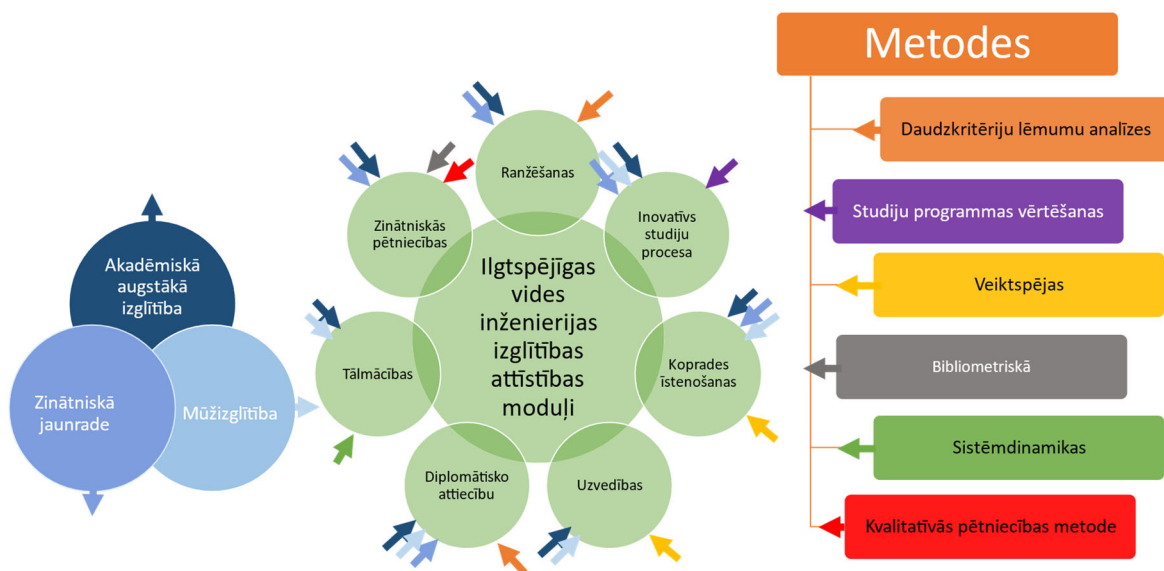
Zinātniskās publikācijas

1. Zlaugotne, B., Žihare, L., Balode, L., **Kalnbalkīte, A.**, Khabdullin, A., Blumberga, D. Multi-Criteria Decision Analysis Methods Comparison. Environmental and Climate Technologies, 2020, Vol. 24, No. 1, pp. 454-471. ISSN 1691-5208. e-ISSN 2255-8837. Pieejams: <https://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0028>.
2. Pubule, J., **Kalnbalkīte, A.**, Teirumnieka, Ē., Blumberga, D. Evaluation of the Environmental Engineering Study Programme at University. Environmental and Climate Technologies, 2019, Vol. 23, No. 2, pp. 310–324. ISSN 1691-5208. e-ISSN 2255-8837. Pieejams: <https://doi.org/10.2478/rtuect-2019-0070>.
3. Pubule, J., Blumberga, A., Rozakis, S., Vēciņa, A., **Kalnbalkīte, A.**, Blumberga, D. Education for Advancing the Implementation of the Bioeconomy Goals: An Analysis of Master Study Programmes in Bioeconomy. Environmental and Climate Technologies, 2020, Vol. 24, No. 2, pp. 149–159. ISSN 1691-5208. e-ISSN 2255-8837. Pieejams: <https://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0062>.
4. **Kalnbalkīte, A.**, Brakovska, V., Terjanika, V., Pubule, J., Blumberga, D. The tango between the academic and business sectors: use of co-management approach for the development of green innovation. Innovation and Green Development, 2023, Vol. 2, No. 4, pp. 100073, ISSN 2949-7531, Pieejams: <https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100073>.
5. Vēciņa, A., **Kalnbalkīte, A.**, Žihare, L., Rozakis, S., Blumberga, D. Biodiplomacy Attractiveness in Bioeconomy Education. Case Study. Environmental and Climate Technologies, 2021, Vol. 25, No. 1, pp. 1205–1214. ISSN 1691-5208. e-ISSN 2255-8837. Pieejams: <https://doi.org/10.2478/rtuect-2021-0091>.
6. Gerinoviča, S., Blumberga, D., **Kalnbalkīte, A.**, Vēciņa, A. To Be, or Not to Be – the Question of Forestry Resources in Bio-Diplomacy. Environmental and Climate Technologies, 2021, Vol. 25, No. 1, 1337.–1346. lpp. ISSN 1691-5208. e-ISSN 2255-8837. Pieejams: <https://doi.org/10.2478/rtuect-2021-0101>.
7. Červinska, E., Blumberga, A., **Kalnbalkīte, A.**, Pubule, J. Development of Massive Online Open Course 'Energy Transition and Climate Change'. Environmental and Climate Technologies, 2022, Vol. 26, No. 1, pp. 1106–1117. e-ISSN 2255-8837. Pieejams: <https://doi.org/10.2478/rtuect-2022-0083>.
8. **Kalnbalkīte, A.**, Pubule, J., Blumberga, D. Education for Advancing the Implementation of the Green Deal Goals for Bioeconomy. Environmental and Climate Technologies, 2022, Vol. 26, No. 1, pp. 75–83. ISSN 1691-5208. e-ISSN 2255-8837. Pieejams: <https://doi.org/10.2478/rtuect-2022-0007>.

9. Valtere, M., Kalēja, D., Kudurs, E., **Kalnbaļķīte, A.**, Terjaņika, V., Zlaugotne, B., Pubule, J., Blumberga, D. The Versatility of the Bioeconomy. Sustainability Aspects of the Use of Bran. Environmental and Climate Technologies, 2022, Vol. 26, No. 1, pp. 658–669. e-ISSN 2255-8837. Pieejams: <https://doi.org/10.2478/rtuct-2022-0050>.
10. Patel, N., **Kalnbaļķīte, A.**, Blumberga, D. An Analysis of the Extraction Technologies: Fruit Peel Waste. Environmental and Climate Technologies, 2021, Vol. 25, No. 1, pp. 666–675. ISSN 2255-8837. Pieejams: <https://doi.org/10.2478/rtuct-2021-0050>.
11. Rozentāle, L., **Kalnbaļķīte, A.**, Blumberga, D. Aggregator as a New Electricity Market Player: (Case Study of Latvia). In: 2020 IEEE 61st Annual International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON 2020): Proceedings, Latvia, Rīga, 5–7 November 2020. Piscataway: IEEE, 2020, pp. 507–512. ISBN 978-1-7281-9511-7. e-ISBN 978-1-7281-9510-0. Pieejams: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9316486>.

Promocijas darba struktūra

Promocijas darbs ir 11 tematiski saistītu zinātnisko publikāciju, kas publicētas dažādos zinātniskajos žurnālos un pieejamas citēšanai vairākās zinātnisko darbu datubāzēs, kopa. Galvenā uzmanība ir pievērsta vides inženierijas izglītības ilgtspējīgas attīstības novērtēšanai. Promocijas darbs: (I) aplūko ilgtspējīgas vides inženierijas izglītības trīs līmeņus; (II) apvieno izstrādātus, analizētus un aprobētus ilgtspējīgas vides inženierijas izglītības septiņus attīstības modeļus; (III) ietver sešu pētniecības metožu izmantošanu.



1. att. Promocijas darba struktūra.

Promocijas darbā ir ievads un trīs nodaļas: literatūras apskats, pētījuma metodes, rezultāti un diskusijas.

Promocijas darba ievadā ir norādīts mērķis un uzdevumi šī mērķa sasniegšanai. Ievadā definēta arī hipotēze, kā arī aprakstīta promocijas darba zinātniskā un praktiskā nozīme. Tālāk tekstā sniegta informācija par pētījumu rezultātu aprobāciju, kas veikta, piedaloties starptautiskās zinātniskās konferencēs, un atspoguļota zinātniskajās publikācijās.

Promocijas darbā sākotnēji ir veikts literatūras apskats (1. nodaļa), kurā analizēta vides inženierijas ilgtspējīga attīstība, apskatītas un piedāvātas inovatīvas mācīšanas un mācīšanās pieejas, kā arī noteikta zinātnisko pētījumu loma vides inženierijas izglītības kontekstā. 2. nodaļā aprakstītas pētījuma metodikas, kas izmantotas visās publikācijās, lai aprobētu ilgtspējīgas vides inženierijas izglītības attīstības modulūsus. 3. nodaļā analizēti pētījuma rezultāti, kas sasniegti, izmantojot iepriekš minētās metodikas. Noslēgumā sniegti secinājumi, kas iegūti pēc sasniegto rezultātu analīzes.

1. METODOLOĢIJA

Ar sešu veidu pētījuma metodēm apbēti septiņi ilgtspējīgi vides inženierijas izglītības moduļi tika . 1. attēlā redzamas promocijas darbā aprobētās metodes.



1. att. Promocijas darba metodika.

1.1. Daudzkritēriju lēmumu analīzes metode

MCDA metodi var izmantot, lai salīdzinātu vairākas iespējas, izmantojot dažādus kritērijus. Šī metode palīdz konsekventi apstrādāt lielu informācijas daudzumu. *MCDA* ievades dati var būt kvantitatīvi un kvalitatīvi. *MCDA* metodes var izvēlēties pēc to īpašībām un prasībām.

Analītiskās hierarhijas procesa (*AHP*) metodē tiek uzskaitītas alternatīvas, un pēc tam tās salīdzinātas pārī atbilstoši ieguldījumam katrā mērķa vai kritērija sasniegšanā. Šo metodi izstrādāja *Thomas L. Saaty*, un tā ir viena no populārākajām metodēm, lai atrastu kritēriju svaru.

Visām izvēlētajām metodēm subjektīvie dati ir kritēriju svāri. *TOPSIS* metodei nepieciešami minimāli ievaddati, kā arī rezultāti ir viegli saprotami (īsākais ģeometriskais attālums līdz ideālajam rezultātam). *VIKOR* metode ir vērsta uz alternatīvu ranžēšanu pēc tuvuma vislabākajam risinājumam, un kritēriju maksimālās un minimālās vērtības ietekmē rezultātu. *COPRAS* metode ņem vērā alternatīvu veiktspēju ar labākajām un sliktākajām

vērtībām, kas ietekmē rezultātu. Izmantojot *MULTIMOORA* metodi, ir iespējams noteikt pretrunīgu kritēriju mērķus, un tai ir attiecību sistēma un atskaites punktu aprēķināšanas metode. *PROMETHEE-GAIA* metode balstīta preferenču grādu aprēķināšanā, un tā parāda, kura alternatīva būtu piemērotāka problēmas risināšanai un kā kritēriju svars ietekmē alternatīvo pozīciju.

Visām izvēlētajām metodēm subjektīvie dati ir kritēriju svāri.

AHP metode ir lēmumu pieņemšanas sistēma, kas nodrošina strukturētu tehniku, lai organizētu un analizētu sarežģītus lēmumus, kuru pamatā ir matemātika un psiholoģija. Sākotnēji AHP algoritmā tiek identificēti kritēriju relatīvā nozīme. Tiek noteikti saprātīgi kvantitatīvi katra kritērija nozīmes svāri. Tie tiek aprēķināti ar kritēriju pāru salīdzināšanas matricu. Pēc šiem aprēķiniem svarīguma vektors - normalizētās pāra kritēriju matricas īpašvektora - norāda kritēriju svarīguma klasifikāciju.

Pēc AHP rezultātiem jāveic pāreja uz *TOPSIS* analīzi (*Hwang* un *Yoon* to izstrādāja 1981. gadā). To lieto, lai pieņemtu lēmumus un analizētu mērķu nozīmīgumu, izmantojot dažādus informācijas avotus un kvalitatīvos un kvantitatīvos datus. *TOPSIS* izmanto attālumu starp labāko alternatīvu un sliktāko alternatīvu, lai definētu piemērotu alternatīvu svarīguma pakāpi, sākot no vispiemērotākā.

Kopumā *TOPSIS* algoritma process sākas ar lēmumu matricas veidošanu, kas atspoguļo katra kritērija apmierinātības vērtību ar katru alternatīvu. Turpmākie soļi ietver matricas normalizēšanu ar vēlamo normalizēšanas shēmu un matricas reizināšanu ar kritēriju svāriem no AHP analīzes. Noslēgumā tiek aprēķināti pozitīvi-ideāli un negatīvi-ideāli risinājumi, un katras alternatīvas attālums līdz šiem risinājumiem tiek aprēķināts ar attāluma mērījumu. Jāziņo tikai par alternatīvu no pozitīvā ideālā risinājuma, kā arī alternatīvas jāsarindo, pamatojoties uz to relatīvo tuvumu.

1.2. Studiju programmu vērtēšanas metode

Studiju programmu vērtēšanas metode tiek izmantota apmācību procesa padziļinātākai analīzei. Metodes pirmajā daļā tiek apzināta un analizēta esošā situācija, kas balstās literatūras apskatā par mācību metodēm, novērtēšanas metodēm, kompetencēm un rādītājiem, kas izmantoti studiju programmu novērtēšanā. Tiek veikta noteikumu un tiesiskā regulējuma analīze, kā arī studiju programmu apkopojums. Otrajā daļā tiek definēts studiju programmas problēmējautājums, mērķis un apjoms, kam seko nozīmīgāko indikatoru identificēšana un atlase un galveno mainīgo ietekmējošo faktoru definēšana, kas ietekmē pāreju uz kompetencēs balstītu izglītību. Ņemot vērā galvenos mainīgo ietekmējošos faktorus, tiek definētas kompetences, mācību metodes, novērtēšanas metodes un zināšanas. Nākamajā daļā tiek lietota *MCDA* metode *TOPSIS*, lai atrastu un izvērtētu optimālo mācību metožu kombināciju.

1.3. Veiktspējas metode

Vides inženierijas studentiem ir jāapgūst ne tikai inženiertehnisku un tehnoloģisku risinājumu izstrāde, bet arī to analīze un prezentēšana sabiedrības locekļiem. Tāpēc liela nozīme izglītības ieguves procesā ir performancei jeb veiktspējas metodes izmantošanai – iemācīties pievērst uzmanību jebkurai darbībai un atšķirt svarīgākās problēmas no nesvarīgām. Veiktspējas metodi izmanto lomu spēlēs.

Metode ietver trīs posmus:

- 1) sagatavošanās stadijā studenti iegūst priekšzināšanas par noteiktu jomu un problēmām;
- 2) lomu spēles stadijā ietver pašreizējās situācijas analīzi, priekšlikumu un risinājumu analīzi, sabiedrisko apspriešanu un lēmumu pieņemšanu. Lomu spēles mērķis ir vairot ieinteresēto personu zināšanas un izpratni par attiecīgās nozares ilgtspējīgu attīstību, tās mērķiem un to sasniegšanu;
- 3) pēcspēles stadijā sniedz atgriezenisko saiti studentiem un apspriež studenta un studentu grupas sniegumu atsevišķās epizodēs, pamatojot studentu sasniegto līmeni.

Veiktspējas novērtēšanā tiek izmantota matrica (1.1. tab.), ar kuru tiek novērtēti biodiplomātijas kompetences vērtēšanas kritēriji. Izvēlētais kritēriju daudzums tiek pielāgots atbilstoši un konkrētajai kompetencei, jo piedāvātais kritēriju klāsts ir plašs. Vēlams izmantot četrus kritērijus, jo atbilstošākie un mērķtiecīgākie kritēriji konkrētajai kompetencei jāizvēlas no plaša iespējamo kritēriju klāsta. Kompetences tiek vērtētas no 1 līdz 4, kur 1. līmenis atspoguļo tikai nelielu darbību (neprecīza, viduvēja, nepilnīga kompetences sasniegšana). 2. līmenis nosaka virzienu uz vispārēju kompetences sasniegšanu. 3. līmenis nosaka kompetences sasniegšanu, kur studentu līdzdalība ir precīza. 4. līmenis norāda, ka students ir kompetents šajā jomā un var analizēt sarežģītas sistēmas.

1.1. tabula

Matricas par veiktspējas novērtēšanu vispārīgā formā

	Mēģina sasniegt / nenasniegt	Tuvojas	Panāk atbilstību	Pārsniedz prasības
Vērtēšanas kritēriji	1	2	3	4
	Studentu aktivitātes ir neprecīzas un aptuvenas; sniegumu var tikai daļēji attiecināt uz iegūto kompetenci.	Studentu sniegums ir vispārīgs, parasti saistīts ar apgūstamo kompetenci.	Studentu sniegums ir precīzs; tas ir balstīts spriedumos par šo kritēriju.	Skolēnu sniegums ir precīzs un pārliecinošs; tas parāda kompetences ierobežojumus un sarežģītību.

Veiktspējas metode kombinācijā ar tehnoloģijas gatavības līmeni

Veiktspējas metode tiek izmantota identificēto dalībnieku novērtēšanai koprades īstenošanas laikā. Noslēgumā tiek identificēti piedāvāto tehnoloģiju gatavības līmenis.

Tehnoloģiju gatavības līmenis (TGL) ir metode, ko izmanto, lai novērtētu jaunas idejas brieduma fāzi un nepieciešamās darbības tās izstrādes procesā. TGL ir deviņi līmeņi, ko var uzskatīt par šāda novērtējuma mērījumu. Šīs metodes priekšrocības ir strukturēts un visaptverošs skatījums uz prototipa statusu tā pētniecības un ražošanas procesā. TGL metodes mērķis ir izstrādāt un pārbaudīt prototipus to reālajā lietojuma vidē, un tā ir iedalīta trīs fāzēs:

- 1) pētniecība;
- 2) prototipa izstrāde;
- 3) produktu ieviešana.

TGL metodoloģijas kopsavilkums saskaņā ar pētījumu ir sniegts 1.2. tabulā.

1.2. tabula

TGL kopsavilkums

TGL	Apraksts	Mērķis	Produkts/novērtējums
1.	Ievads projekta esošajā situācijā un mērķos	Pētniecība	Koncepcijas iespējamība
2.	Pētniecības jautājumu definēšana	Pētniecība	Koncepcijas iespējamība
3.	Analītiskie pētījumi un literatūras apskats	Attīstība	Prototips
4.	Pamatkomponenti ir integrēti, lai pārbaudītu projekta darbības spēju	Attīstība	Prototips
5.	Pamatkomponenti ir integrēti, lai pārbaudītu projekta veiktspēju	Attīstība	Prototips
6.	Reprezentatīva prototipa veidošana	Attīstība	Prototips
7.	Prototipa testēšana	Īstenošana	Prototips
8.	Pētniecības projekts projekta pabeigšanai	Īstenošana	Sertificēts produkts
9.	Produkta darbības uzsākšana	Īstenošana	Izvietotais produkts

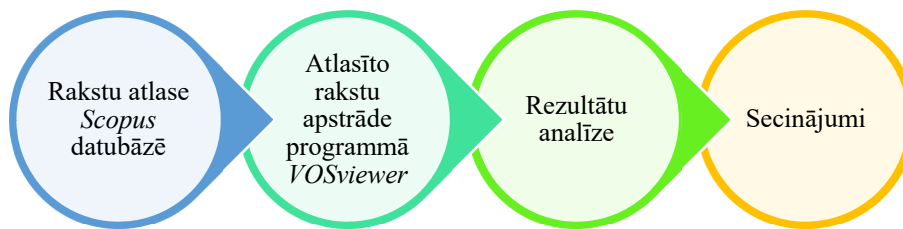
Ar šo metodi tiek novērtēta sadarbības attīstība starp akadēmisko sektoru un industriju, un tās mērķis ir apmācīt kvalificētus vides zinātniekus, lai izstrādātu zaļās inovācijas, kas atbilst tautsaimniecības prasībām.

1.4. Bibliometriskā metode

Zinātnisko datu apjomu analizēšanai plaši izmanto bibliometriskās analīzes metodes. Pētnieki lieto šo metodi, lai identificētu tendences dažādu publikāciju un žurnālu sniegunā. Šī metode ļauj izpētīt konkrētas jomas intelektuālo struktūru esošajā literatūrā. Bibliometriskā analīze ir īpaši noderīga, ja pārskata apjoms ir plašs un datu kopa ir pārāk liela, lai to analizētu manuāli.

Bibliometriskiem pētījumiem datus var atrast datubāzēs, piemēram, *Scopus*, *Web of Science* un *Google Scholar*. Datubāzes atšķiras pēc publikāciju apjoma, iebūvēto analīzes rīku metodēm un aptvertajām pētniecības jomām. Piemēram, *Google Scholar* ir visplašākais datu pārklājums visās jomās, savukārt *Scopus* un *Web of Science* īpaši tiek izmantotas inženierzinātņu jomā.

Pētījuma metode ietver rakstu atlasīšanu no *Scopus* datubāzes, rakstu apstrādei izmantojot bibliogrāfijas vizualizācijas programmu *VOSviewer*, rezultātu analīzi un secinājumu formulēšanu (1.1. att.).



1.1. att. Bibliometriskā metode.

Pētījumi tika atlasīti, izmantojot *Scopus* datubāzi un meklēšanas laukos ievadot “*Article title, Abstract, Keywords*” vārdu kombinācijas. Šīs vārdu kombinācijas ir:

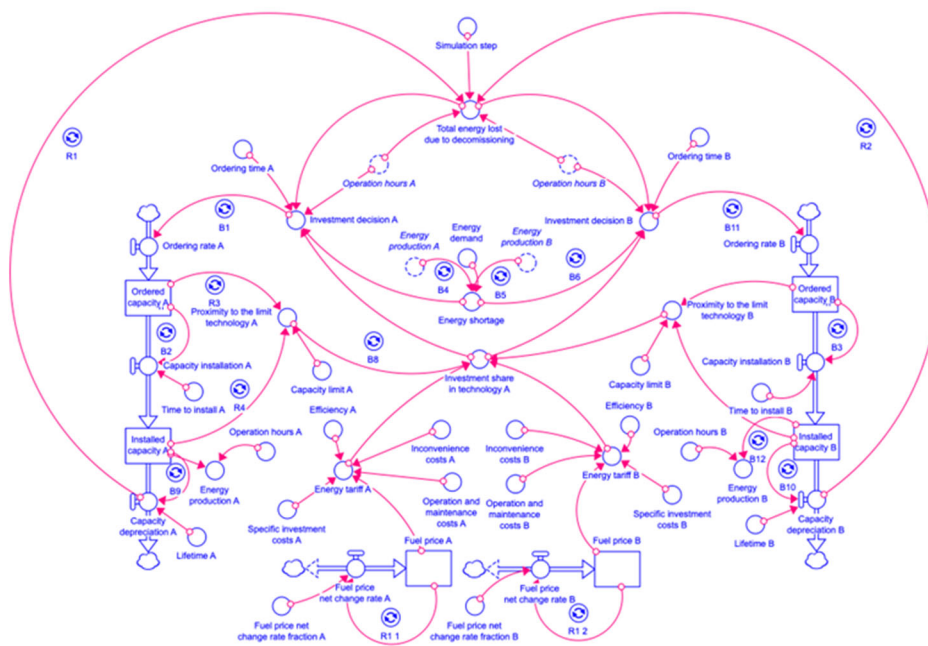
1. “*Education*” AND “*Bioeconomy*”;
2. “*Education*” AND “*Bioeconomy*” AND “*Competences*”;
3. “*Education*” AND “*Bioeconomy*” AND “*Innovation*”;
4. “*Education*” AND “*Bioeconomy*” AND “*Skill*”;
5. “*Education*” AND “*Green deal*”;
6. “*Education*” AND “*Green deal*” AND “*Innovation*”.

Raksti tika atlasīti sākot no 2012. gada, ja tika iekļauts vārds “bioekonomika”, jo 2012. gadā tika definēti bioekonomikas mērķi. Ja vārdu salikums ietvēra terminu “Zaļais kurss”, tad raksti tika izvēlēti, sākot no 2019. gada, jo Zaļā kursa mērķi stājās spēkā no 2019. gada.

1.5. Sistēmdinamikas metode

Sistēmdinamikas metode ir novērtēšanas metode, kas izstrādāta 20. gadsimta piecdesmito gadu beigās un sešdesmito gadu sākumā Masačūsetsas Tehnoloģiju institūtā. Pamatā metode galvenokārt ir vērsta uz aģentiem vai vadītājiem kā informācijas pārveidotājiem, kuri interpretē jaunu informāciju vai atgriezenisko saiti par notiekošo procesu un pārveido to atbilstīgās turpmākās darbībās.

Gadījuma cilpas diagrammas (GCD) tiek izstrādātas *Stella Architect 2.1.5* programmatūrā. Šie divi enerģētikas nozares piedāvājuma un pieprasījuma puses GCD tiek izveidoti pētījuma “Enerģētikas pārkārtošanas politikas apspriešanas platforma: kā padarīt sarežģītas lietas vienkāršas” laikā, kurā tika izveidots internetā bāzēts saskarnes rīks nacionālajam energosimulācijas modelim kā “hibrīda foruma” rīks. Ņemot vērā gadījuma rakstura cilpu, diagrammas tiek pārveidotas par vispārējām krājumu un plūsmu struktūrām un tiek izmantotas kā pētījuma rīki, lai izskaidrotu, kā vairākas enerģijas piedāvājuma un pieprasījuma puses mijiedarbojas enerģētikas nozarē, atjauninot un pielāgojot to esošajai situācijai (1.2. att.).



1.2. att. Krājumu un plūsmu struktūra energoapgādes nozarē.

1.6. Kvalitatīvās pētniecības metodes vides inženierijā

Jebkura zinātniskā pētniecība virza uz inovācijām un jaunām tehnoloģijām. Zinātniskajai izpētei vides inženierijas jomā ir augsta pievienotā vērtība, jo tā palīdz izvērtēt dažādu procesu ietekmi uz vidi un klimata pārmaiņām. Zināšanās balstītas vides inženierijas attīstība ar zinātniskās pētniecības palīdzību nodrošina ilgtspējīgu inovatīvu inženiertehnisko risinājumu attīstību. Tāpēc vides inženierijas studiju programmās tiek iekļauti ekoloģisko pētījumu studiju kursi divās vides inženierijas apakšnozarēs:

- vides tehnoloģijās;
- bioekonomikā.

Šajā darbā lielāks uzsvars likts uz kvalitatīvajām zinātniskās izpētes metodēm, ko plaši lieto vides inženierzinātņu izglītības programmās. Par kvalitatīvajām zinātniskās izpētes metodēm šeit tiek definētas metodes, kurās kvantitatīvām vērtībām nav galvenā nozīme, jo tās tiek izmantotas galvenokārt kvalitatīvajam salīdzinājumam. Kaut arī kvantitatīvās pētniecības metodes ir līdzvērtīgas, tās ir dārgākas un prasa lielākus ieguldījumus zinātniskās aparātūras iegādei un uzturēšanai. To apstiprina četri gadījuma rakstura zinātniskās izpētes piemēri.

Bioekonomikas integrācija. Blakusprodukti

Bioekonomikas integrācijas pētījumā par blakusproduktiem tiek identificēti un novērtēti produkti, ko var izgatavot, izmantojot graudu blakusproduktus. Tiek izmantotas divas metodes – literatūras apskats un multikritēriju analīzes metode.

Multikritēriju analīzes metodi var izmantot, lai salīdzinātu vairākas iespējas, izmantojot dažādus kritērijus. Šī metode palīdz konsekventi apstrādāt lielu informācijas daudzumu. *MCDA* ievades dati var būt kvantitatīvi un kvalitatīvi. *TOPSIS* tika izmantota, lai salīdzinātu dažādus produktus un noteiktu optimālo variantu. *TOPSIS* metodes iegūtais rezultāts ir alternatīvu attālums līdz ideālam punktam. Alternatīvais ar īsāko attālumu līdz ideālajam punktam ir labākais.

Metodoloģija tika izvēlēta, pamatojoties uz recenzētajiem zinātniskajiem rakstiem bioekonomikas jomā un to piemērotību šim pētījumam. Lai identificētu un novērtētu produktus, ko var izgatavot, izmantojot graudu blakusproduktus, ir izvēlētas divas metodes – literatūras apskats un *MCDA*. Darbības algoritmu var aprakstīt ar šādiem pieciem soļiem, kas visi ir svarīgi un ko nevar izlaist, lai iegūtu precīzus rezultātus.

1. Produktu identifikācija. Solis, kas nepieciešams, lai noteiktu galveno produktu, tā nepieciešamās īpašības un kvalitātes.
2. Informācijas vākšana pieejamajā literatūrā un tās analīze, lai padziļināti izpētītu izvēlēto produktu, tā pieejamību un daudzveidību tirgū.
3. Pamatojoties uz literatūras analīzi, turpmākai analīzei ir nepieciešama kritēriju izvēle. Pareiza kritēriju izvēle ļaus visaptveroši novērtēt produktu, pamatojoties uz nepieciešamajām īpašībām. Attiecībā uz tehnoloģiju šie kritēriji var būt tās gatavības līmenis, pieejamība tirgū un ilgtspēja.
4. *MCDA* analīzes veikšana, pamatojoties uz izvēlētiem kritērijiem.
5. Produkta realizācija, balstoties *MCDA* analīzes rezultātos (1.3. att.).



1.3. att. Metodes posmi.

Bioekonomikas risinājumi. Tehnoloģijas

Bioekonomikas risinājumu izpētē par tehnoloģijām tiek salīdzināti četras dažādas zaļo ekstrākciju metožu veiktspējas. Novērtēšanai tiek izmantota multikritēriju analīzes metode, izmantojot analītiskās hierarhijas procesu (AHP) ar *The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)* metodes.

Multikritēriju analīzes metode tiek izmantota, lai pieņemtu lēmumus un analizētu mērķu nozīmīgumu, izmantojot dažāda veida informāciju, kā arī kvalitatīvos un kvantitatīvos datus.

AHP metode sadala un analizē problēmas hierarhiskā struktūrā, kas ietver mērķi, kritēriju un apakškritēriju. AHP metodoloģiju 1980. gadā izstrādāja *Saaty*, un izvēlētos kritērijus eksperti salīdzina pa pāriem.

TOPSIS ir populāra multikritēriju analīze, ko 1981. gadā izstrādāja *Hwang* un *Yoon*. Šī metode tiek izmantota, lai definētu labāko alternatīvu.

Energoresursu pieprasījumu puses pārvaldība

Gadījuma izpētes pamatā ir pieprasījuma reakcijas un apkopošanas tiesisko un ekonomisko aspektu izpēte un to piemērošana situācijai Latvijā.

Kā atzīmējis J. K. Jufermans, ir grūti paredzēt, cik liela daļa no tradicionālās ražošanas spēs palīdzēt nodrošināt elastību nākotnē, jo to var pilnībā balstīt politiskos lēmumos par to, vai šīs tradicionālās ražošanas vienības turpinās darboties (piemēram, koģenerācijas stacijas).

Lai nodrošinātu elastību, pieprasījuma reakcija nevar balstīties neparedzamās patērētāju darbībās, jo tās nav organizētas darbības, bet balstītas katra indivīda personīgajās interesēs. Lai nepārprotamu pieprasījuma reakciju organizētu, ir ieviests jauns elektroenerģijas tirgus dalībnieks – agregators. Turklāt direktīvas *2012/27/EU* 17. pantā ir precizēts, ka:

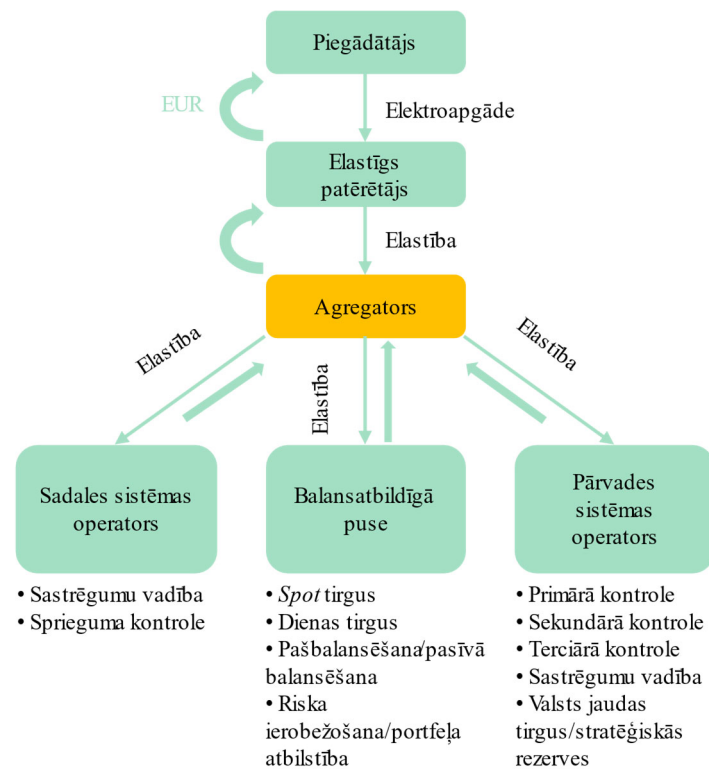
- 1) visiem tirgiem (nākamās dienas, esošās dienas) vajadzētu būt atvērtiem pieprasījumreakcijai, tostarp papildpakalpojumiem (balansēšana, rezerves utt.);
- 2) visiem elektroenerģijas uzņēmumiem vai patērētājiem var prasīt izmaksāt kompensāciju tiem tirgus dalībniekiem, kurus tieši ietekmē pieprasījumreakcija;
- 3) ja kompensācija tiek ieviesta, tā nav šķērslis pieprasījumreakcijai un sedz tikai izmaksas, kas radušās piegādātājiem vai piegādātāja balansatbildīgajai pusei.

Ir divu veidu agregatori – neatkarīgie un kombinētie. Kombinētais agregators nozīmē, ka elektroenerģijas piegādātājs vai balansatbildīgā puse, vai sadales sistēmas operators ir arī agregators, tāpēc agregēšana ir jau esoša tirgus dalībnieka papildu funkcija. No otras puses, neatkarīgs agregators ir atsevišķs uzņēmums, kas strādā neatkarīgi no iepriekš minētajiem elektroenerģijas piegādātājiem, balansatbildīgajām pusēm vai sistēmu operatoriem. Pašlaik ES izplatītāks ir apvienotais agregators, jo to ir vieglāk iesaistīt tirgū. Tas ir mazāk sarežģīti ne tikai no likumdošanas viedokļa, bet arī no elektroenerģijas patērētāju viedokļa gadījumos, kad agregators ir patērētāja elektroenerģijas piegādātājs.

Tajā pašā laikā autore var apgalvot, ka agregatoru var uzskatīt kā draudu citiem tirgus dalībniekiem, piemēram, elektroenerģijas piegādātājiem. Tas nozīmē, ka pieprasījuma reakciju var uzskatīt par izmaksām mazumtirgotājiem, jo:

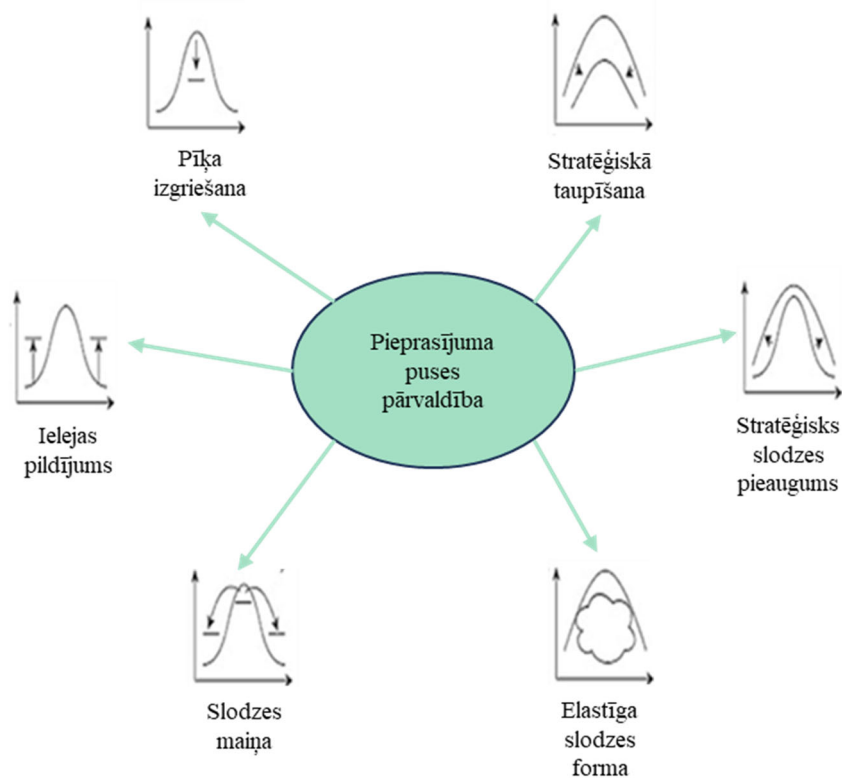
- 1) elektroenerģijas mazumtirgotāji (balansatbildīgās puses) pērk šo virtuālo elektroenerģiju elektroenerģijas biržas tirgū, ko nodrošina agregatori; tā nav īsta elektrība, bet gan elektrības ietaupījums konkrētā laikā; mazumtirgotāji (balansatbildīgās puses) pērk šo elektroenerģiju, lai apmierinātu pieprasījumu, bet viņi nevar par to izrakstīt rēķinu patērētājiem;
- 2) pieprasījumreakcija veicina elektroenerģijas tirgus fizisku līdzsvarošanu, taču mazumtirgotāji to uzskata par finansiālu nelīdzsvarotību.

1.4. attēlā redzami visi elastības mehānismi, ko nodrošina agregators dažādos vairumtirdzniecības tirgus segmentos, kur agregators var darboties kā veicinātājs, lai vajadzības gadījumā nodrošinātu elastību.



1.4. att. Agregatora sniegtie elastības pakalpojumi.

Ir sešas pieprasījuma puses elektroenerģijas patēriņa pārvaldības veidi (1.5. att.). Šie dažādie pieprasījuma pārvaldības veidi, ko var apvienot kopā, ļauj ļoti cieši saistīties ar ražošanu.

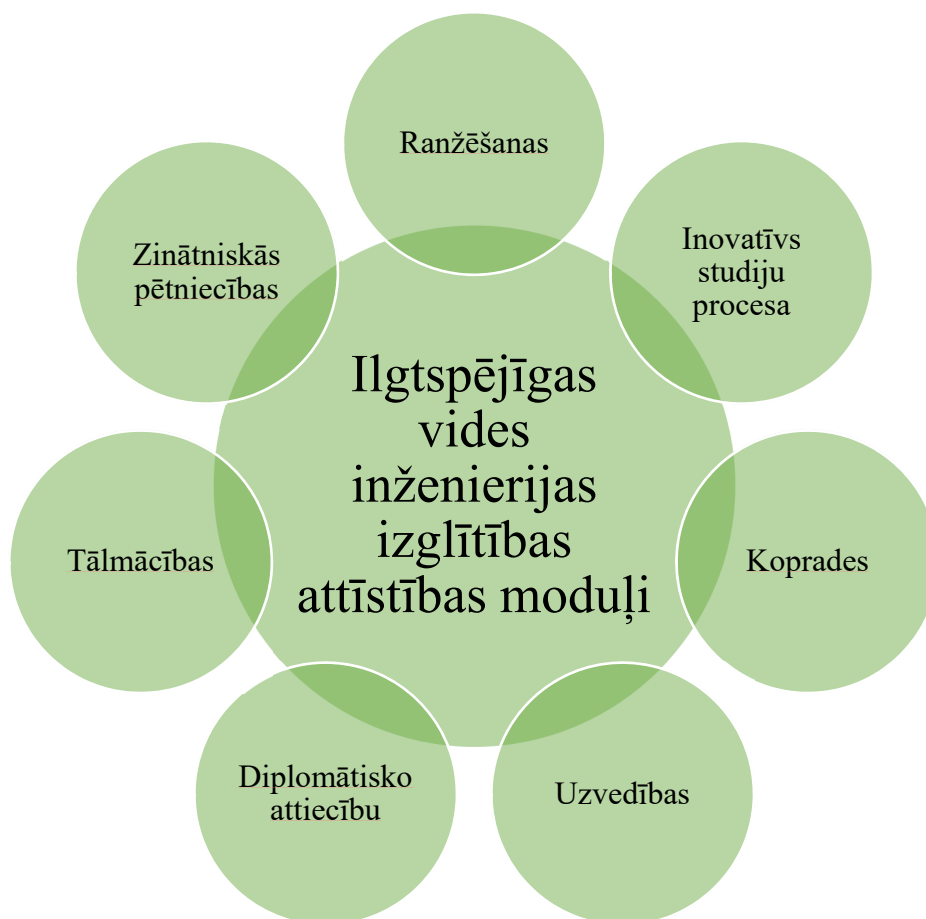


1.5. att. Pieprasījuma puses pārvaldības veidi.

Pieaugot elektroenerģijas pieprasījumam, tas var aizstāt daļu no ražošanas, kas būs vajadzīga, lai apmierinātu šo nākotnes pieprasījumu. Šie pieprasījuma pārvaldības veidi parāda visas iespējas, ko agregators var izmantot – tā ir ne tikai slodzes novirzīšana uz citu periodu, bet arī elektroenerģijas patēriņa samazinājums kopumā, efektīvāk izmantojot patērētāja ierīces un tādējādi sniedzot ieguvumus arī ES klimata politikai un klimata mērķiem.

2. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Šajā nodaļā apkopoti iepriekšējā nodaļā aprakstīto metožu rezultāti lietotos septiņos vides inženierijas izglītības attīstības moduļos. Vides inženierijas ilgtspējīgas attīstības moduļi redzami 2. attēlā.



2. att. Promocijas darba aprobētie moduļi.

2.1. Ranžēšanas modulis

Ranžēšanas modulis atspoguļo daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīzes metožu salīdzināšanu un atbilstošākā izvēli moduļu ieviešanā turpmāk. Tika sagatavots kopsavilkums par īpašībām, kas tika izmantotas, un tās salīdzinošā veidā apkopotas 2.1. tabulā.

Šis salīdzinājums tika veikts, lai redzētu metožu līdzības un atšķirības.

2.1. tabula

MCDA metožu kopsavilkums

	<i>TOPSIS</i>	<i>VIKOR</i>	<i>COPRAS</i>	<i>MULTIMOORA</i>	<i>PROMETHEE-GAIA</i>	<i>AHP</i>
Normalizācijas veids	Vektoru normalizācija (summas kvadrātsakne (L2 normalizācija))	Lineārā normalizācija (L1 normalizācija)	Vektoru normalizācija (summa)	Vektoru normalizācija (summas kvadrātsakne)	Normalizācija tiek veikta automātiski	Vektoru normalizācija (summa)
Piemērotība	Izvēles problēmas, ranžēšanas problēmas	Izvēles problēmas, ranžēšanas problēmas	Izvēles problēmas, ranžēšanas problēmas	Izvēles problēmas, ranžēšanas problēmas	Izvēles problēmas, ranžēšanas problēmas, apraksta problēmas (<i>GAIA</i>)	Izvēles problēmas, ranžēšanas problēmas, kārtošanas problēmas (<i>AHPsort</i>)
Ievaddati	Ideāls un antiideāls izvēles svars	Labākie un sliktākie variantu svāri	Labākie un sliktākie variantu svāri	Labākie un sliktākie variantu svāri	Indifference un preferenču sliktāko svāri	Pāra salīdzinājums attiecību skalā (1–9)
Rezultāti	Pilnīgs rangs ar tuvuma punktu skaitu ideālam un attālumu līdz antiideālam	Pilnīga ranžēšana ar tuvuma punktu skaitu labākajam variantam	Pilnīga ranžēšana	Pilnīga ranžēšana	Daļēja un pilnīga ranžēšana (pāra pārsvara grādi)	Pilnīga ranžēšana ar rezultātiem
Preferenču funkcija	Attāluma metrika (Eiklīda attālums, Manhetenas attālums, Čebiševa attālums)	Attāluma metrika (Manhetenas attālums)	<i>Min Max</i>	<i>Min Max</i>	Parastā, lineārā, U veida, V forma, līmenis, Gausa	
Pieceja	Kvalitatīvs un/vai kvantitatīvs	Kvantitatīvs	Kvantitatīvs	Kvantitatīvs	Kvalitatīvs un/vai kvantitatīvs	Kvalitatīvs
Ranžēšanas skala	0 līdz 1	Pozitīvas vērtības	Pozitīvas vērtības	Pozitīvas vērtības	–1 līdz 1	0 līdz 1
Labākā alternatīva	Maksimālā vērtība	<i>Min</i> vērtība	<i>Max</i> vērtība	<i>Max</i> vērtība	<i>Max</i> vērtība	<i>Max</i> vērtība
Konsistences līmeņi	Bez ierobežojumiem	Bez ierobežojumiem	Bez ierobežojumiem	Bez ierobežojumiem	7 ± 2	9
Programmatūra	<i>MS Excel, Matlab, Decerns</i>	<i>MS Excel</i>	<i>MS Excel</i>	<i>MS Excel</i>	<i>Visual Promethee, Decision Lab, D-Sight, Smart Picker Pro</i>	<i>MS Excel, MakeItRational, ExpertChoice, DecisionLens, HIPRE 3+, RightChoiceDSS, Criterium, EasyMind, Questfox, ChoiceResults, I23AHP, DECERNS</i>

Ar AHP metodi tiek salīdzināti kritēriju pāri, novērtējot kritērija nozīmīgumu pār otru kritēriju, un rezultāti parādīti 3.1. attēlā. Pāru salīdzinājumā 1. vērtība norāda, ka abi kritēriji ir vienlīdz svarīgi, 5. vērtība norāda, ka viens kritērijs ir ļoti svarīgs, salīdzinot ar citiem kritērijiem, 9. vērtība norāda, ka viens kritērijs ir svarīgāks par citiem kritērijiem. Pretējiem kritērijiem salīdzināšanas vērtības ir proporcionāli pretējas. Šo pāru salīdzinājumu veica trīs vides zinātnes jomas eksperti.

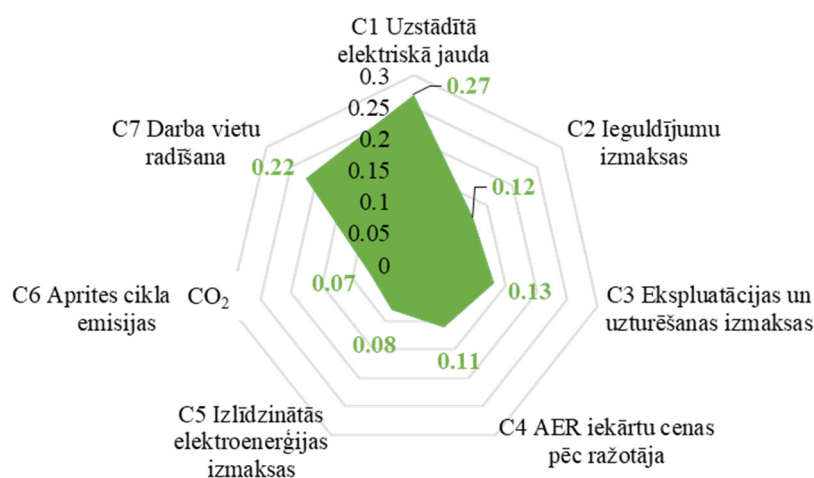
Ja $CR > 10\%$, tad pāru salīdzinājumi ir nekonekventi.

2.1. attēlā redzami visi kritēriji un to svērumi. Vissvarīgākais kritērijs ir iestatītā elektriskā jauda ar svaru 27%, nākamais – darbavietu radīšanas kritērijs ar 22% svaru. Vismazākā ietekme uz alternatīvām ir kritērijiem par elektroenerģijas izlīdzinātajām izmaksām un aprites cikla CO₂ emisijām.

TOPSIS metodē svarīga vērtība ir alternatīvais tuvuma indikators, kas ir alternatīvas galīgā vērtība. Pamatojoties uz *TOPSIS* metodes rezultātiem, vislabākā alternatīva ir hidroelektrostacija (HES), kam seko biomasas un biogāzes koģenerācijas stacija (bioenerģijas koģenerācija). Ar *VIKOR* metodi vislabākā alternatīva ir tā, kurai ir minimāla vērtība. Rezultātā metodes vislabākā alternatīva ir hidroelektrostacijai (HES), tai seko saules fotoelementu enerģijai.

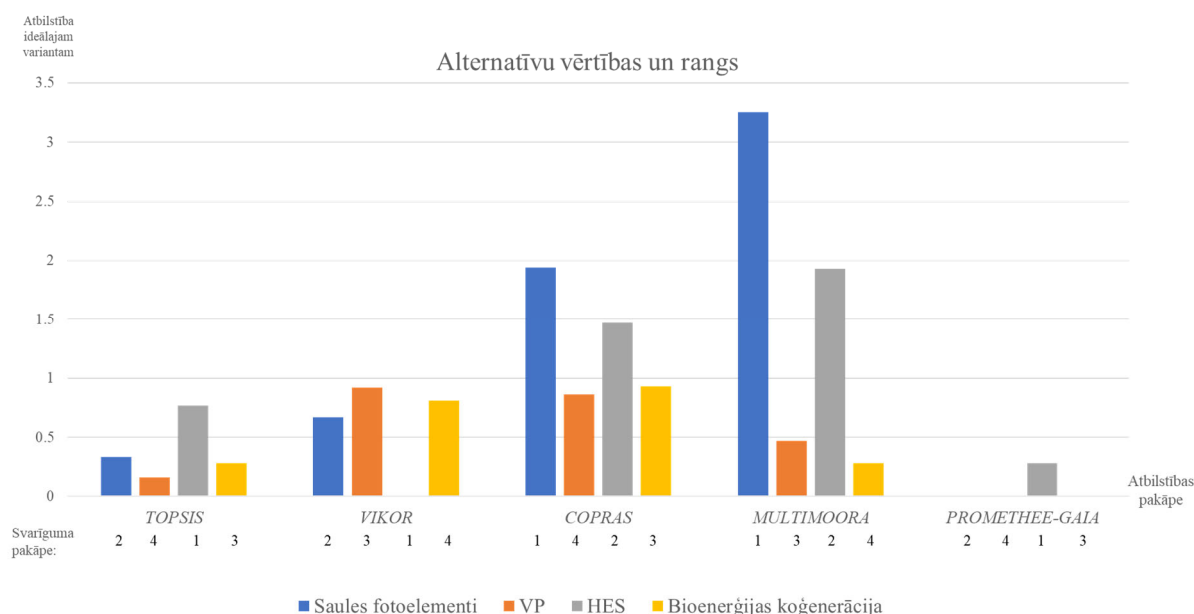
Lai salīdzinātu *VIKOR* un citas metodes, ir svarīgi atcerēties, ka šajā metodē svarīgs solis ir samazināt visus kritērijus, lai veiktu salīdzinājumus.

COPRAS metode ir vienkārša, un vislielākā ietekme uz vislabāko alternatīvu ir kritērijiem, svāra un indeksa vērtībām. Pamatojoties uz šo metodi, vislabākā alternatīva ir saules fotoelementi (saules fotoelementu enerģija) un hidroelektrostacija (HES). Vislabākā alternatīva šajā metodē ir saules fotoelementu enerģija, vissliktākā alternatīva – vēja elektrostacijas (VES). Abām alternatīvām ir lielas atšķirības to galīgajās vērtībās, un tas varētu būt saistīts ar katra kritērija alternatīvajām vērtībām.



2.1. att. Kritēriju vērtības un svāri.

2.2. attēlā redzams piecu daudzkritēriju lēmumu analīžu – *TOPSIS*, *VIKOR*, *MULTIMOORA*, *COPRAS* un *PROMETHEE-GAIA* – kopsavilkums par visām katras alternatīvas galīgajām vērtībām. *TOPSIS*, *VIKOR* un *PROMETHEE-GAIA* metodēm labākā alternatīva ir hidroelektrostacija (HES), pēc pārējām divām metodēm HES ir ierindota otrajā vietā. Savukārt *COPRAS* un *MULTIMOORA* metodēs labākā alternatīva ir saules fotoelementi (*Solar PV*). Visvairāk galarezultātus ietekmē kritēriji, svari un metodes. Labākā alternatīva tiek definēta ar tuvuma rādītāju ideālajam attālumam, tuvuma rādītāja labākajam variantam, pāra pārsvara vai ranžēšanas ar punktiem. Svarīgs rādītājs ir arī kritēriju labākā vērtība – minimālā vai maksimālā.



2.2. att. Alternatīvas vērtības un svarīguma pakāpe.

MCDA metožu rezultāti atspoguļoti 2.2. attēlā, un tie tiek vērtēti no labākās līdz sliktākajai alternatīvai. Pēc tam, kad šis rezultāts ir parādīts diagrammā, ir vieglāk redzēt tendenci, pēc kuras alternatīvas tiek sarindotas. Vislabākā alternatīva ir hidroelektrostacija (HES), tai seko saules fotoelementi (saules fotoelementi), jo šīs alternatīvas ir pirmajā vai otrajā vietā, salīdzinot ar lielāko daļu citu alternatīvu. Zemākais rangs ir vēja elektrostaciju (VES) alternatīvai, jo trīs no piecām metodēm tā ir pēdējā vietā.

2.2. Inovatīvs studiju procesa modulis

Studiju programmu vērtēšanas metode tiek izmantota vides inženierijas un bioekonomikas studiju programmu analizēšanai.

Vides inženierijas studiju modulis

Pētījuma laikā analizēta iepriekš minēto augstskolu pieredze studiju programmu organizēšanā. Pētījuma rezultātā tika atzītas 13 mācību metodes, kas ir piemērotas, lai sasniegtu labākos rezultātus studiju procesā un nodrošinātu kompetencēs balstītu vides inženierijas izglītību maģistra studiju līmenim – anonīma atgriezeniskās saites vērtēšana, vienota e-mācību sistēma (tiešsaiste), apsekojuma datu vākšana, grupu kursa darbi, grupu uzdevumi, individuāls pētniecības projekts, lekcijas, tiešsaistes uzdevumi un kursa darbi, praktiski laboratorijas darbi, semināri un darbnīcas, objektu apmeklējumi, konsultācijas un lomu spēles.

Šīs mācību metodes ir izmantotas pamatstudiju un augstākās studiju programmās studiju procesā Rīgas Tehniskajā universitātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūtā (RTU VASSI).

Izglītības nolūkos izvēlētās mācību metodes būtiski ietekmē studiju procesa efektivitāti un iegūtās prasmes.

Anonīma atgriezeniskās saites izvērtēšana, kā arī tiešā atgriezeniskā saite no studentiem var būt noderīga un efektīva metode studiju procesa pilnveidošanai, īpaši kompetencēs bāzēta izglītība (KBI), kur studenti var formulēt savas studiju vajadzības un iegūt labākus rezultātus studiju procesā.

Vienota e-mācību sistēma (iekštīkls), Rīgas Tehniskās universitātes gadījumā – *ORTUS*, ir daudzfunkcionāla augstākās izglītības iestādes vietne, ir būtiska KBI, jo, ja to izmanto visaptveroši, var būtiski uzlabot studentu elastību un palīdzēt attīstīt radošo domāšanu.

Grupu darbs tiek organizēts kursa darba vai grupu vingrinājumu veidā, tiek izstrādāts personisks un sociāls darbs, izprot komandas darbu, stimulē multidisciplināru koncepciju u. c.

Objektu apmeklējumi un datu vākšana, semināri un darbnīcas, kā arī laboratorijas darbi mācību procesā ļauj iepazīstināt ar KBI iezīmēm un koncepcijām. Lekcijas un konsultācijas kopā ar individuāliem pētniecības projektiem ir jebkura augstākās izglītības procesa neatņemama sastāvdaļa, bet ne vienīgā. Tā ir tikai daļa no mācību metodēm, ko būtu jāizmanto studiju procesā.

Lomu spēļu simulācijas attīsta pamata konkurētspēju vides inženierijas studiju programmas studentiem un kopumā tiek uzskatītas par bagātu un autentisku mācību vidi. Šo mācību metožu kombinācija var palīdzēt mainīt ceļu no mācīšanas uz mācīšanos un nodrošināt KBI principus studiju procesā.

MCDA tika izstrādāti četri rādītāji, lai analizētu šādus konkurences rādītājus: inženiertehniskās prasmes; nododamās prasmes; vides aizsardzības prasmes; sociālekonomiskās prasmes. *MCDA* mērķis bija novērtēt, kuras mācību metodes ir piemērotākas un kādās proporcijās, lai uzlabotu vides inženierijas maģistra studiju programmas absolventu konkurētspēju. Norādītie rādītāji tika izstrādāti, izvērtējot literatūru un apkopojot nozares akadēmiskā personāla vērtējumu. *MCDA* izmantotie rādītāji mācību metožu novērtēšanai apkopoti 2.2. tabulā.

2.2. tabula

Mācību metožu vērtēšanā izmantotie rādītāji

Indikators	Vienība	Vēlamais iznākums
Inženiertehniskās prasmes	Kompetences līmenis	Max
Tālāk nododamas prasmes	Kompetences līmenis	Max
Vides aizsardzības prasmes	Kompetences līmenis	Max
Sociālekonomiskās prasmes	Kompetences līmenis	Max

Pētījuma laikā tika izvērtētas un salīdzinātas 13 mācību metodes, lai atrastu efektīvākās metodes labāko rezultātu sasniegšanai studiju procesā (2.3. tab.).

2.3. tabula

Mācību metožu apzīmējums

Apzīmējums	Vides inženierijas mācību metodes
A1	Anonīmi atsauksmju novērtējumi
A2	Vienota e-mācību sistēma (iekštīkls)
A3	Datu vākšana
A4	Grupās kursa darbs
A5	Grupu darbi
A6	Individuālais pētniecības projekts
A7	Lekcijas
A8	Tiešsaistes uzdevumi un kursa darbi
A9	Laboratorijas darbi
A10	Semināri un darbnīcas
A11	Objektu apmeklējumi
A12	Konsultācijas
A13	Lomu spēles

Kritēriju svarus (w_{1b1} , w_{2b2} , w_{3b3}) vērtēja RTU VASSI eksperti. Normalizētās un svērtās vērtības no lēmumu pieņemšanas matricas mācību metožu novērtēšanai apkopotas 2.4. tabulā.

2.4. tabula

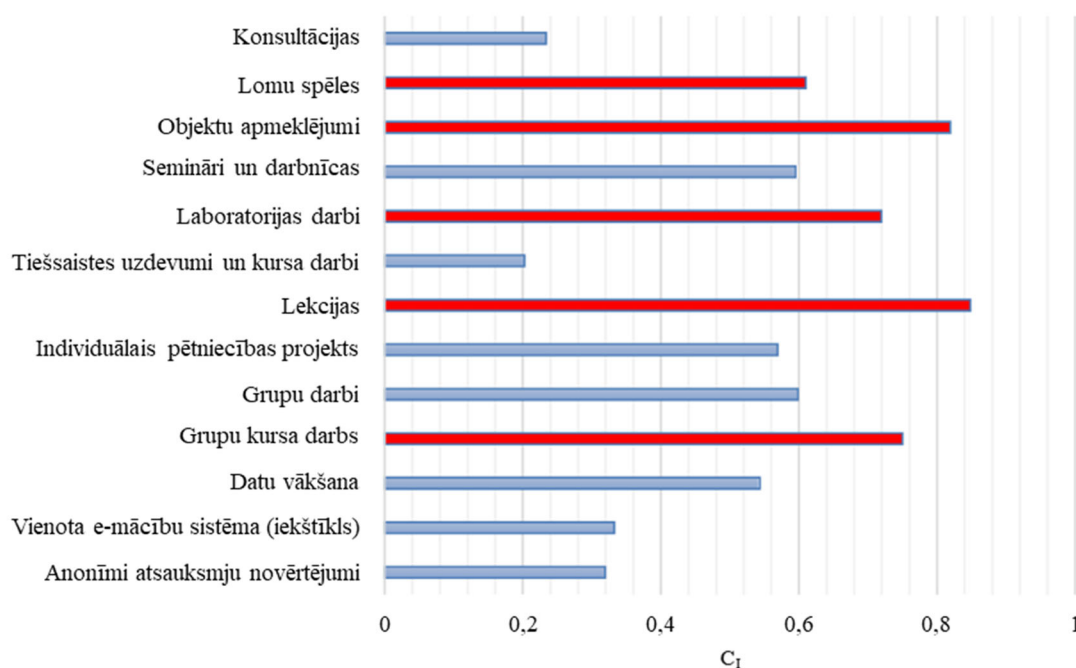
Normalizētā un svērtā lēmumu pieņemšanas matrica

Kritērijs Mācību metode	Inženiertehniskās prasmes	Tālāk nododamās prasmes	Vides aizsardzības prasmes	Sociālekonomiskās prasmes
	w_{1b1}	w_{2b2}	w_{3b3}	w_{3b3}
A1	0,0015625	0,005625	0,003125	0,00375
A2	0,0046875	0,00375	0,003125	0,00375
A3	0,0078125	0,001875	0,00625	0,00125
A4	0,00625	0,0075	0,00625	0,005
A5	0,0046875	0,0075	0,0046875	0,005
A6	0,00625	0,005625	0,0046875	0,00375

2.4. tabulas turpinājums

Kritērijs Mācību metode	Inženiertehniskās prasmes	Tālāk nododamās prasmes	Vides aizsardzības prasmes	Sociālekonomiskās prasmes
	$w1b_{i1}$	$w2b_{i2}$	$w3b_{i3}$	$w3b_{i3}$
A7	0,0078125	0,0075	0,0078125	0,00625
A8	0,003125	0,00375	0,0015625	0,0025
A9	0,0078125	0,005625	0,0078125	0,005
A10	0,003125	0,009375	0,0046875	0,00625
A11	0,00625	0,009375	0,00625	0,0025
A12	0,0015625	0,009375	0,0078125	0,00625
A13	0,0046875	0,001875	0,0015625	0,00125

Mācību metožu novērtēšana, izmantojot TOPSIS, tika veikta vides inženierzinātņu maģistra studiju programmas ietvaros. Iegūtie rezultāti parādīja, ka lekcijas, objektu apmeklējumi, grupu kursa darbi un laboratorijas darbi kopā ar lomu spēlēm ļauj iegūt nepieciešamās zināšanas, prasmes un kompetences (2.3. att.).

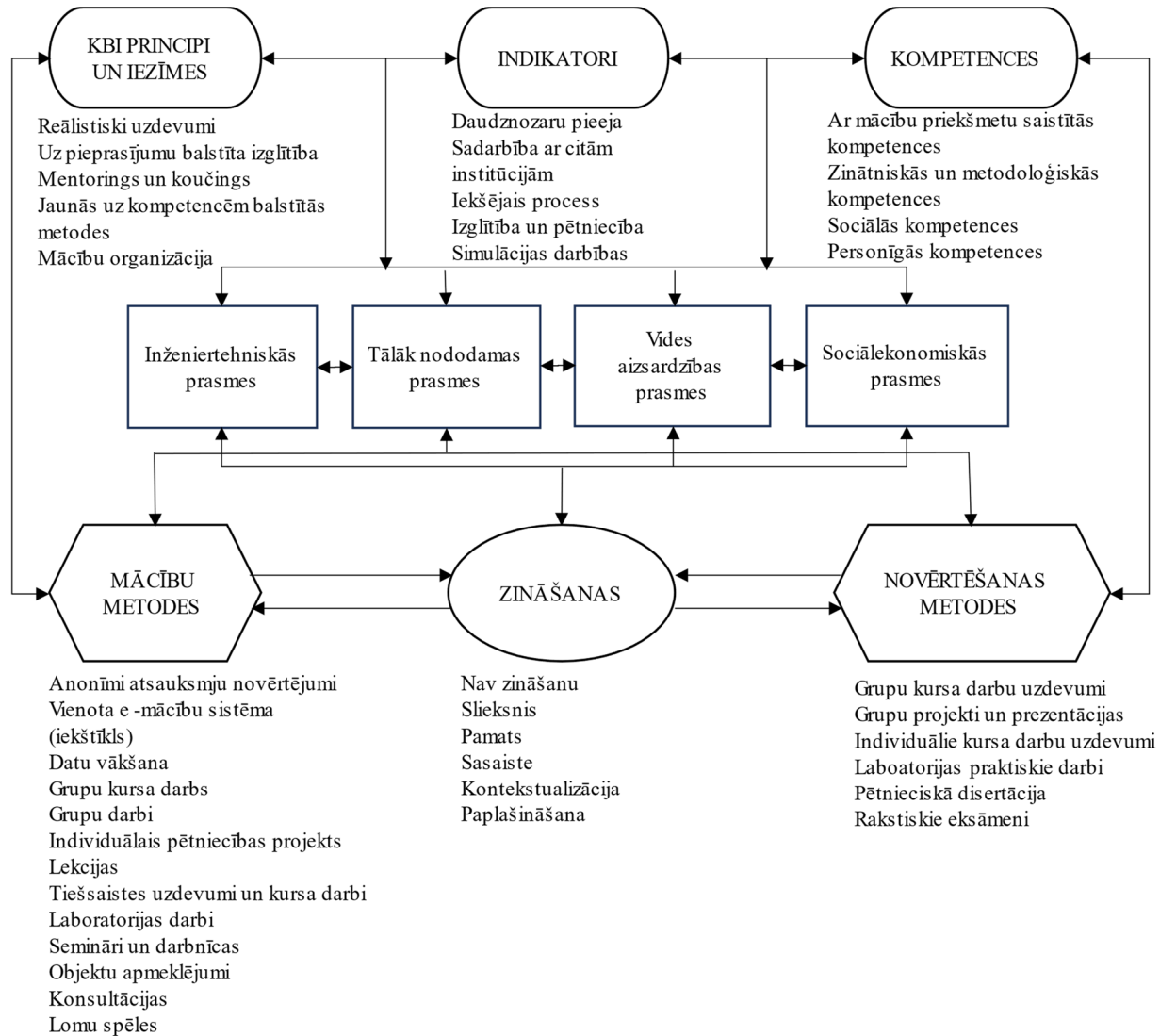


2.3. att. Mācību metožu vērtējumu salīdzinājums.

Kā vērtēšanas metodes grupu uzdevumiem var izmantot grupu darbus, grupu kursu darbus. Atsevišķiem pētniecības projektiem individuālie kursa darbu uzdevumi var dot iespēju novērtēt darbu. Pētnieciskās darbi un rakstiskie eksāmeni ir efektīvs līdzeklis individuālā darba novērtēšanā.

Izstrādāta vērtēšanas sistēma vides inženierijas studiju programmas novērtēšanai (2.4. att.).

Piedāvātā vērtēšanas sistēma vides inženierijas studiju programmas novērtēšanai tika pārbaudīta un aprobēta jaunajās Rīgas Tehniskās universitātes maģistra studiju programmās “Vides inženierija” un “Bioekonomika”.



2.4. att. Vides inženierijas studiju programmas novērtēšanas vērtēšanas sistēma.

Bioekonomikas studiju modulis

Bioekonomikas studiju moduļa ietvarā sākotnēji tika atlasītas Eiropas pilna laika maģistra studiju programmas par bioekonomikas tēmu. Rezultāti liecina, ka lielākā daļa studiju programmu ir Rietumeiropā, no kurām līdere ir Nīderlande ar četrām maģistra studiju programmām par bioekonomiku. Septiņas maģistra studiju programmas ir universitātes studiju programmas, divas – kopīgas maģistra studiju programmas, viena – *Erasmus Mundus* kopīgā maģistra studiju programma. Studiju programmu kopējais fokuss ir uz bioekonomiku ar specializāciju dažādos bioekonomikas aspektos, piemēram, mežsaimniecībā, biotehnoloģijā, aprites ekonomikā, ķīmijas inženierijā, biobāzētos materiālos, bioinovācijās u. c. Rezultātā tika atlasītas 10 studiju programmas, kas apkopotas 2.5. tabulā.

2.5. tabula

Maģistra studiju programmas bioekonomikā

Universitāte	Programmas nosaukums	Studiju laiks	Apraksts
Māstrihtas Universitāte (Nīderlande)	Biobāzēti materiāli	2 gadi pilna laika	Koncentrēšanās uz jaunu materiālu atklāšanu un ilgtspējīgām bioresursu ražošanas metodēm.
Utrehtas Universitāte (Nīderlande)	Bioloģiski iedvesmota inovācija	2 gadi pilna laika	Koncentrēšanās uz aprites uzņēmējdarbības modeļu un bioiedvesmotas pētniecības un inovāciju izstrādi.
Vageningenas Universitāte un pētniecība (Nīderlande)	Biobāzētas zinātnes un biosistēmu inženierija (un biotehnoloģija)	2 gadi pilna laika	Koncentrēšanās uz biobāzētu ekonomiku no starpdisciplināras perspektīvas.
Edinburgas Universitāte (Apvienotā Karaliste)	Bioekonomikas pārvaldība, Inovācija un pārvaldība	2 gadi pilna laika	Koncentrēšanās uz tādiem bioekonomikas aspektiem kā ilgtspējīga inovācija un jaunu tehnoloģiju ieviešana esošajos un jaunietekmes tirgos.
Stratklaida Universitāte (Apvienotā Karaliste)	Rūpnieciskā biotehnoloģija	1 gads pilna laika	Koncentrējieties uz to, lai izprastu pašreizējo rūpnieciskās biotehnoloģijas attīstību.
Hohenheimas Universitāte (Vācija)	Bioekonomika	2 gadi pilna laika	Koncentrēšanās uz biobāzētu ekonomiku, izmantojot starpdisciplināru un transdisciplināru pieeju.
Helsinku Universitāte (Somija)	Meža zinātnes	2 gadi pilna laika	Koncentrēšanās uz meža bioekonomikas uzņēmējdarbību un politiku.
Kopīgā studiju programma: Austrumsomijas Universitāte (Somija), AgroParisTech (Francija), Freiburgas Universitāte (Vācija), Ļeidas Universitāte (Spānija), Dabas resursu un dzīvības zinātņu universitāte (Austrija), Transilvānijas Brašovas Universitāte (Rumānija)	Eiropas mežsaimniecība	2 gadi pilna laika	Koncentrēšanās uz ilgtspējīgu resursu pārvaldību, uzsverot pašreizējos bioekonomikas jautājumus.

2.5. tabulas turpinājums

Universitāte	Programmas nosaukums	Studiju laiks	Apraksts
Kopīgais maģistra grāds: Boloņas Universitāte, Milānas-Bikokas Universitāte, Neapoles Universitāte – Federiko II, Turīnas Universitāte (Itālija)	Eiropas maģistrs bioekonomikā aprites ekonomikā	1 gads pilna laika	Koncentrēšanās uz biobāzētu preču un pakalpojumu nozari, izmantojot bioloģiskos resursus un biotehnoloģiskos procesus.
<i>Erasmus Mundus</i> kopīgais maģistra grāds: Parīzes Dzīvības, pārtikas un vides zinātņu tehnoloģiju institūts (Francija), Reimsas Šampanas-Ardēnu universitāte (Francija), Ālto Universitāte (Somija), Tallinas Tehnoloģiju universitāte (Igaunija), Ljēžas Universitāte (Beļģija)	Eiropas maģistrs bioloģijas un ķīmijas inženierijā ilgtspējīgai bioekonomikai	2 gadi pilna laika	Koncentrējieties uz biotehnoloģiju, bioprocesu izstrādi un paplašināšanu, kā arī biobāzētu produktu inženieriju, papildus koncentrējoties uz vispārīgajām prasmēm, tostarp projektu vadību.

Turpmāk studiju programmu analīzei tika izmantotas bioekonomikas kompetences. Katra kompetence tika interpretēta kompetences sistēmā. Analīzes programmai izmantoti studiju programmu un studiju kursu apraksti katrai studiju programmai. Mērķis bija izteikt bioekonomikas kompetenču integrāciju katrā studiju programmā:

- 1) neliela integrācija vai tās neesamība;
- 2) minimāla integrācija;
- 3) mērena integrācija;
- 4) laba integrācija.

2.6. tabulā sniegts pārskats par Edinburgas Universitātes studiju programmas “Bioekonomikas, inovāciju un pārvaldības vadība” analīzes rezultātiem.

2.6. tabula

Studiju programmas individuālās kompetences matricu analīzes piemērs

Bioekonomikas kompetences	Studiju programmas kompetences							
	Sistēmiskās domāšanas kompetence	Prognozēšanas kompetence	Normatīvā kompetence	Stratēģiskā kompetence	Starppersonu kompetence	Transdisciplinārā kompetence	Mācīšanās kompetence	Starpdisciplinārā kompetence
Tendenču, iespēju un izaicinājumu analīze dabas zinātņu inovāciju ceļā	4	4	3	3	2	4	3	4
Uzņēmējdarbības veicināšana un radoša domāšana par bioekonomikas nākotni	3	3	4	4	4	4	4	4
Biznesa plānu izveide un jaunu tehnoloģiju tirgus maršrutu kartēšana	3	3	2	4	3	3	3	3

2.6. tabulas turpinājums

Bioekonomikas kompetences								
Studiju programmas kompetences	Sistēmiskās domāšanas kompetence	Prognozēšanas kompetence	Normatīvā kompetence	Stratēģiskā kompetence	Starppersonu kompetence	Transdisciplinārā kompetence	Mācīšanās kompetence	Starpdisciplinārā kompetence
Prognozēšana un uz scenārijiem balstītas metodes ar jaunajām tehnoloģijām saistītā riska un nenoteiktības pārvaldībai	4	3	4	3	3	4	2	4
Sarunu un komunikācijas prasmes starpdisciplinārās komandās	4	4	3	4	4	3	4	4
Apzīmējums:	1	neliela integrācija vai tās nav vispār minimāla integrācija mērena integrācija laba integrācija						
	2							
	3							
	4							

Analizētās studiju programmas ir īpaši paredzētas bioekonomikas studijām, tāpēc vispārējās bioekonomikas un ilgtspējīgas attīstības kompetences ir labi integrētas studiju programmās. Esošajās studiju programmās par bioekonomiku Eiropā transdisciplinārā kompetence, mācīšanās kompetence, starpdisciplinārā kompetence un sistēmiskās domāšanas kompetence ir cieši integrētas studiju programmās. Citu kompetenču, piemēram, prognozēšanas kompetences, normatīvās kompetences, stratēģiskās kompetences un starppersonu kompetences, integrācija var būt spēcīgāka. Tas parādīja, ka ir jāpastiprina šo kompetenču izmantošana ilgtspējīgai attīstībai un bioekonomikai nākotnē.

Analīzes rezultāts par bioekonomikas kompetenču integrēšanu studiju programmas kompetencēs apkopots 2.6. tabulā.

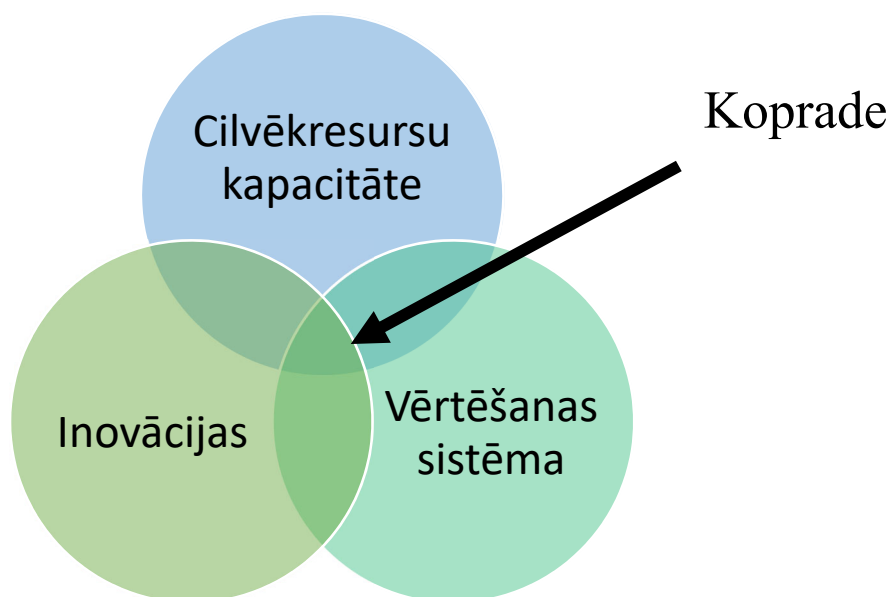
2.6. tabula

Bioekonomikas kompetenču integrēšana studiju programmas kompetencēs

Bioekonomikas kompetences								
	Sistēmiskās domāšanas kompetence	Prognozēšanas kompetence	Normatīvā kompetence	Stratēģiskā kompetence	Starppersonu kompetence	Transdisciplinārā kompetence	Mācīšanās kompetence	Starpdisciplinārā kompetence
Maģistra studiju programmu kompetences matrica								
Biobāzēti materiāli	3	4	3	3	3	4	4	4
Bioiedvesmota inovācija	4	3	3	3	4	4	4	4
Biobāzētas zinātnes un biosistēmu inženierija (un biotehnoloģija)	4	3	3	4	3	4	4	4
Bioekonomikas, inovācijas un pārvaldības pārvaldība	4	3	3	4	3	4	3	4
Rūpnieciskā biotehnoloģija	3	4	3	4	4	3	4	4
Bioekonomika	4	4	3	4	3	4	4	4
Meža zinātnes	3	4	4	3	3	3	4	3
Eiropas mežsaimniecība	4	3	3	3	4	4	4	4
Eiropas maģistrs bioekonomikā aprites ekonomikā	4	3	4	3	4	4	4	4
Eiropas maģistrs bioloģijas un ķīmijas inženierijā ilgtspējīgai bioekonomikai	4	3	3	3	3	4	4	4
Apzīmējums:	3	mērena integrācija						
	4	laba integrācija						

2.3. Koprades īstenošanas modulis

Koprades moduli raksturo divas puses (2.7. att.). Pirmā ir auditorija, ko raksturo tas, cik spēcīgas un labas ir zināšanas, kādi sadarbības modeļi pastāv un var pastāvēt, lai partnerības izjūtas būtu, kādas ir zināšanas par inovācijām. Otrā ir vērtēšanas puse, kur tiek novērtēti dalībnieki un rezultāts, uz ko tie tiecas. Koprades īstenošanas modulī tiek izmantota veiktspējas metode kombinācijā ar tehnoloģiju gatavošanas līmeņa metodi.



2.7. att. Koprades moduļa galvenie elementi.

Cilvēkresursu kapacitāte

Pirmais uzdevums ir definēt zaļās inovācijas vērtības ķēdes dalībniekus un to lomu. Pētījumā aplūkoti vadošie spēlētāji ir akadēmiskās aprindas – studenti, akadēmiskais personāls, nozare – uzņēmums, mentori, nozares eksperti un citas ieinteresētās puses. Universitāte kā partneris nodrošina motivētus studentus, kas ir viens no modeļa kritiskajiem elementiem. Viņu iesaistīšanās zaļo inovāciju ideju vētrā veicina zināšanās balstītu uzņēmējdarbību, stiprina akadēmiskā sektora sadarbību ar industriju, kā arī nodrošina kvalificēta darbaspēka pieejamību ekonomikas attīstībai nākotnē. Mācībspēku uzdevums ir nodrošināt nepārtrauktu mācību procesu un pārliecināt nozari uzticēties akadēmiskā sektora kompetencēm un studentu spējai radīt un potenciāli komercializēt zinātniskos sasniegumus videi draudzīgu izgudrojumu jomā. Uzņēmuma prasības – spēja precīzi definēt izaicinājumus, ar kuriem saskaras pats uzņēmums, zināšanas par vides tehnoloģiju komercializācijas un attīstības procesu, ambīcijas, kas vērstas uz starptautisko konkurētspēju, gatavība nodrošināt kompetentus pārstāvjus

Abu galveno partneru – akadēmisko aprindu un industrijas – kopīga atbildība ir piesaistīt šādus kompetenču partnerus, kuru klātbūtne stiprina partneru spējas un iespējas nodrošināt pilnvērtīgu zināšanu apmaiņas procesu zaļo inovāciju izstrādē. Šiem ārējiem mentoriem un sociālajiem partneriem ir sava loma, novērtējot risinājuma pozicionējumu plašākā kontekstā.

Inovācijas

Partneru mijiedarbība ir balstīta katras ieinteresētās puses vajadzībās, to mērogs un dziļums nosaka iesaistīšanās pakāpi un ieguldījumu apjomu. Aspekti, kuros pušu vajadzības sakrīt, visbūtiskāk ietekmē pētījumu rezultātus, piemēram, studentam ir nākotnes karjeras

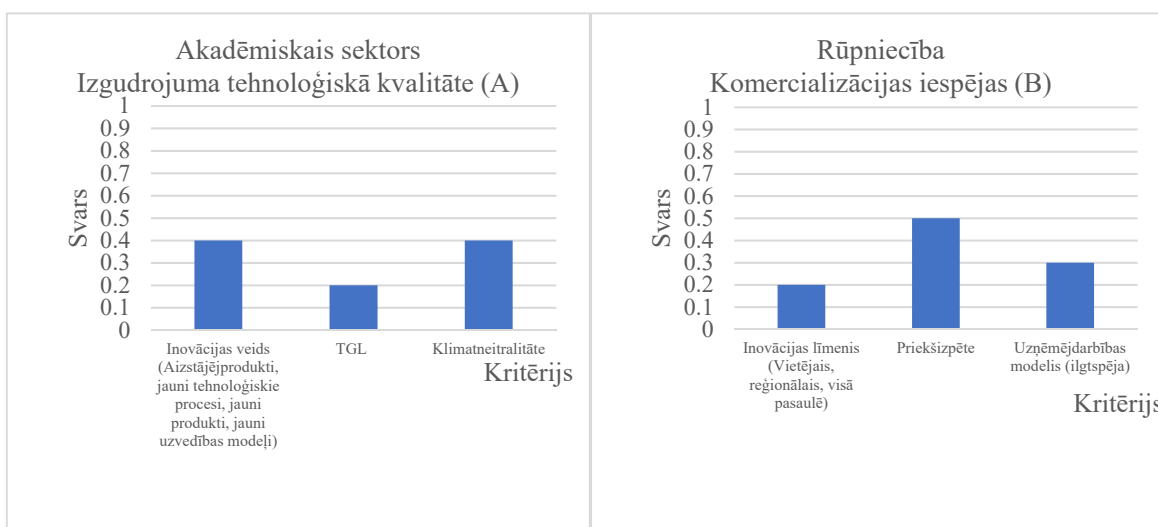
iespējas personīgai izaugsmei. Tajā pašā laikā universitātei ir būtiski nostiprināt savu statusu kā modernu izglītības iestādi, taču uzņēmuma interese ir par mijiedarbību ar universitāti.

Akadēmiskajam sektoram ir jāvelta vairāk pūļu, lai motivētu ieinteresētās puses, jo studentu gatavība rīkoties ir atkarīga no akadēmiskā personāla iesaistes un uzņēmējdarbības un kompetences partneru iesaistes. Kad akadēmiskais un privātais sektors iesaistās sadarbībā, pirmais solis ir atrast līdzsvaru starp ekonomisko, vides un sociālo ietekmi, un tas ir izšķirošs faktors lēmumu pieņemšanā.

- a) Vides jomā akadēmiskā sektora primārais mērķis ir ilgtspējīga un atbildīga resursu izmantošana, jo risinājumi ir vērsti uz sabiedrības dzīves kvalitātes paaugstināšanu.
- b) Uzņēmējdarbībā galvenais mērķis ir maksimāli palielināt peļņu – to prasa gan uzņēmumu īpašnieki, gan nepieciešamība nodrošināt stabilu finanšu plūsmu, konkurētspēju un izaugsmi.

Universitātei ir izšķiroša loma notikumu un tehnoloģiju attīstībā. Savukārt rūpniecības nozare, ko pārstāv uzņēmumi, vadoties pēc tās stratēģiskajām interesēm, pieņem lēmumus par optimālu studentu komandu darbu.

Tika izveidotas divas sistēmas pušu interešu novērtēšanai, kas atbilst abu partneru (uzņēmuma un universitātes) vajadzībām. Tika vērtēti tādi kritēriji kā izdoma, kvalitāte, ietekme uz vidi un idejas komercializācijas potenciāls (inovācija). Katrs kritērijs tika vērtēts skalā no 1 līdz 10 (kur 1 – zemākais, 10 – augstākais). Katram kritērijam atkarībā no būtiskuma (kas jāsasniedz notikuma un/vai pētījuma ietvaros) attiecībā uz rezultātu tika piešķirta tā nozīme (2.8. att).



2.8. att. Stratēģisko partneru sadarbības vērtēšanas kritēriju salīdzinājums (A – akadēmiskais sektors; B – rūpniecība).

Vērtēšana

Dažādas metodes mācību procesā ļauj sadarboties mācībspēkiem un studentiem jaunā līmenī, ļaujot studentiem paplašināt zināšanas par vidi un pārbaudīt tās praksē.

Tika piedāvāta vērtēšanas kritēriju tabula (2.7. tab.), ko var pielāgot dažādām izglītības programmām. Katrs kritērijs tiek vērtēts skalā no 1 līdz 4, kur 1 – mēģina sasniegt / nerasniedz, 4 – pārsniedz prasības. Katram tiek piešķirts svars atkarībā no studiju programmas prasībām.

2.7. tabula

Vērtēšanas kritēriji galīgajai prezentācijai

Vērtēšanas kritēriji	Mēģina sasniegt / nerasniedz	Tuvojas	Panāk atbilstību	Pārsniedz prasības
	1	2	3	4
	Studentu aktivitātes ir neprecīzas, un aptuveno sniegumu var tikai daļēji attiecināt uz iegūto kompetenci.	Studentu sniegums parasti ir saistīts ar apgūstamo kompetenci.	Studentu sniegums ir precīzs; tas ir balstīts spriedumos par šiem kritērijiem.	Studentu sniegums ir precīzs un pārliecinošs; tas parāda kompetences ierobežojumus un sarežģītību.

Vērtēšanas kritēriji tika novērtēti pēc 2.8. tabulā dotajiem kritērijiem.

2.8. tabula

Kritēriju novērtēšana

Nr.	Kritēriji	Svars
1.	Virzība uz klimatneitrālu risinājumu	0,20
2.	Tehniski ekonomiskās priekšizpētes kvalitāte	0,20
3.	Identificējams inovācijas veids (aizstājējprodukti, jauni tehnoloģiskie procesi, jauni produkti, jauni uzvedības modeļi)	0,15
4.	Biznesa modeļa kvalitāte (risinājuma ilgtspējas nodrošināšanai)	0,1
5.	Tehnoloģiju gatavības līmenis	0,1
6.	Inovācijas līmenis (vietējais, reģionālais, globālais)	0,1
7.	Ieguldījums viena vai vairāku Apvienoto Nāciju Organizācijas ilgtspējīgas attīstības mērķu sasniegšanā	0,05
8.	Komandas sniegums (prezentācijas kvalitāte)	0,05
9.	Dalībnieki ir formulējuši savu lomu risinājuma ieviešanā	0,05
Kopa		1,0

Nākamais pētījuma solis ir izprast projekta tehnoloģisko gatavību. Šī izpratne ļautu izvirzīt mērķi, ko komanda atvēlētajā laikā var sasniegt.

No nozares viedokļa otrs studentu komandas risinājuma kvalitātes rādītājs ir biznesa modeļa ieviešana. Parasti uzņēmējdarbības modeļus aplūko no vērtību ķēdes perspektīvas apvienojumā ar citām teorijām un uzņēmumu praksi. Uzņēmējdarbības modulis formulē vērtības piedāvājumu klientiem un ņem vērā, kā organizācija rada, piegādā un uztver vērtību. Akadēmiskajam personālam un uzņēmumu vadītājiem ir atšķirīga izpratne par ilgtspējīgu uzņēmējdarbības modeļu jēdzienu, un joprojām notiek debātes par to, vai ilgtspējīgi uzņēmējdarbības modeļi nākotnē varētu aizstāt tradicionālos uzņēmējdarbības modeļus.

2.4. Uzvedības modulis

Performances jeb veikspējas metode tiek izmantota, vides inženierijas studentu apmācībā integrējot lomu spēli, jo ir svarīgi veidot uzvedības tipu vai darbību, kas pieprasa daudz uzmanības, lai detalizētu problēmas un izceltu detaļas, kas dažreiz varētu šķist arī nesvarīgas. Lomu spēlei ir jāveido studentu nostāja.

Lomu spēlē dalībnieki iejūtas izdomāta tēla lomā. Dalībnieki nosaka savu personāžu darbību atkarībā no tās uzdevumiem un personalizācijas, un veiksmes faktors ir atkarīgs no spēles sistēmas un dalībnieku uzvedības, gatavības un motivācijas. Svarīgi ir spēles noteikumi, kuru ietvarā spēlētāji var improvizēt un radoši meklēt risinājumus, turklāt viņu izvēles ietekmē spēles virzienu un iznākumu.

Lomu spēles laikā dalībnieki atbildēja uz galveno jautājumu – kā ieguldīt *Covid-19* ārkārtas atbalsta līdzekļus pandēmijas seku mazināšanai (ilgtspējīga ekonomikas atveseļošana) un saglabāt pāreju uz ilgtspējīgu bioekonomikas attīstību. Katra mērķgrupa – mežsaimniecība, lauksaimniecība, zivsaimniecība un akvakultūra – formulēja viņuprāt labākos risinājumus, pamatojoties uz pētījumiem. Bioekonomikas stratēģijā, kas nosaka, ka visnozīmīgākais atbalsts ir lauksaimniekiem un pārtikas ražotājiem, lai garantētu nodrošinātību ar pārtiku. Ir jāņem vērā tas, ka atlikusī daļa būs jāsadala starp zivsaimniecībām un mežsaimniecību.

Pirmajā sagatavošanas daļā tika izstrādāta lomu spēle, otrajā daļā tā tika īstenota, trešajā daļā tika novērtētas studentu biodiplomātijas kompetences bioekonomikā ar pēcspēles snieguma līmeņa matricu.

Lomu spēles rezultātā lauksaimniecības grupa saņēma vislielāko finansiālo atbalstu, tāpēc šī grupa tika tālāk analizēta, izmantojot pēcspēles snieguma līmeņa matricu. Pēcspēles snieguma līmeņa matrica lauksaimniecības grupai biodiplomātisko kompetenču novērtēšanai redzama 2.9. tabulā.

2.9. tabula

Pēcspēles snieguma līmeņa matrica lauksaimniecības grupai

1. kategorija Produkta/pakalpojuma/procesa atbilstība pārejai no pašreizējās paradigmas par ekonomiskās ražošanas palielināšanu uz ilgtspējīgu bioekonomiku, veicinot zaļā kursa un klimatneitralitātes politikas	2. kategorija Saprātīgs un delikāts dialogs, sadarbība ar mērķa grupām.	3. kategorija Sabiedrības mērķu un uzdevumu kopējā definīcijā, apziņā, ka mēs visi esam viens, sinerģiska pieeja globālu problēmu risināšanā.
1. Nav minēts	1. Nav scenāriju, kā atbildēt uz āķīgiem jautājumiem, daudzi jautājumi netiek izmantoti, lai sāktu dialogu.	1. Priekšlikums par pilsētu lauksaimniecību ir atklāti noraidīts.

2.9. tabulas turpinājums

<p>1. kategorija Produkta/pakalpojuma/procesa atbilstība pārejai no pašreizējās paradigmas par ekonomiskās ražošanas palielināšanu uz ilgtspējīgu bioekonomiku, veicinot zaļā kursa un klimatneitralitātes politikas</p>	<p>2. kategorija Saprātīgs un delikāts dialogs, sadarbība ar mērķa grupām.</p>	<p>3. kategorija Sabiedrības mērķu un uzdevumu kopējā definīcijā, apziņā, ka mēs visi esam viens, sinerģiska pieeja globālu problēmu risināšanā.</p>
<p>2. Nav minēts</p>	<p>2. Solījumi un draudi kā dialoga veicinātāji (kas draud, ja lauksaimniecība netiek atbalstīta). Virkne jautājumu un atbilžu parāda divvirzienu komunikāciju. Neskaidri argumenti diskusijā ar investoriem.</p>	<p>2. Sadarbība ar mežsaimniecības nozari, izstrādājot kopīgus priekšlikumus zemes izmantošanas maiņai (zemes apmežošana, izmaiņas 1 ha ietvarā).</p>
<p>3. Grupas prezentācija definē lauksaimniecības mērķus bioekonomikas jomā, kas atbilst paradigmas maiņai. Tiek norādīta sagaidāmā pievienotā vērtība, analizēti šķēršļi bioekonomikas attīstībai, sasniegti politikas instrumenti, sniegti precīzi pasākumu priekšlikumi, skaidri priekšlikumi energoefektivitātes uzlabošanai un emisiju samazināšanai, kvantitatīvie argumenti (lauksaimniecības IKP, eksports u. c.) un to analīze, rīcības plāns mērķa grupu iesaistīšanai izglītībā. pasākumi un diskusijas. Investoriem tiek piedāvātas inovatīvas iespējas.</p>	<p>3. Sākts dialogs ar pašvaldībām, lai rastu risinājumu kopējām sociālām un lauksaimniecības problēmām (jauniešu un dažādu profesiju pārstāvju iesaistīšana sezonas darbā, darbaspēka dinamisma palielināšana).</p>	<p>3. Kopīgi mērķi, kas izvirzīti ar vides aktivistiem, lai apturētu urbanizācijas procesu; kopīga programmas izstrāde jauniešu piesaistīšanai lauku apvidiem.</p>
<p>4. Nav minēts</p>	<p>4. Grupas diskusijā plūst pārliecinoša apņēmība, politiku lēmums piešķirt lielāko finansējuma daļu (uzvara finansējuma piešķiršanas spēlē) norāda uz domāšanas maiņu ilgtermiņa stratēģiju virzienā.</p>	<p>4. Nav minēts</p>

Pēc spēles snieguma iztirzājums, ko veic vērtētāji kopā ar studentiem, ir svarīgs, lai noskaidrotu un pamatotu sasniegtos līmeņus. Tas ļauj studentiem identificēt savas izpratnes trūkumus.

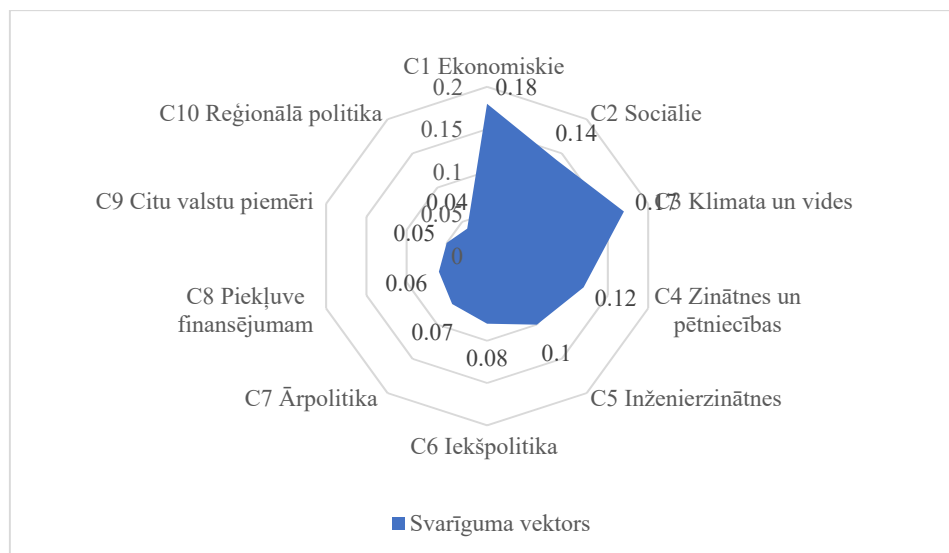
2.5. Diplomātisko attiecību modulis

Vides inženierijas studentu apmācības uzvedības modulis pamazām tiek papildināts ar sarunu mākslas un zinātnes komponentēm. Faktiski tas lielā mērā ir saistīts ar diplomātiju, kas ir attiecināma ne tikai uz ārpolitiku. Diplomātija ir attiecināma uz dažādu grupu pārstāvjiem, kuri diskutē (dažreiz arī konfliktē) par sabiedrībā aktuāliem jautājumiem. Viens no šādiem jautājumiem, kas nezūd no dienas kārtības, ir vides aizsardzības un klimata pārmaiņu jautājums. Tāpēc vides inženierijas, ieskaitot bioekonomikas, studentiem ir nepieciešams apgūt un veidot diplomātisko attiecību moduli, izprotot dažādas problēmas.

Tika identificēti galvenie 10 temati biodiplomātijas attīstības veicināšanai: ekonomiskie (C1); sociālie (C2); klimata un vides (C3); zinātnes un pētniecības (C4); inženierzinātnes (C5); iekšpolitikas (C6); ārpolitikas (C7) piekļuves finansējumam; (C8), citu valstu piemēri (C9); reģionālās politikas (C10), kas tika izveidoti kā 10 AHP kritēriji.

AHP metodes lietošanas sākumā, balstoties ekspertu viedokļos, tika noteikta katra kritērija relatīvās atšķirības pret mežsaimniecības nozares potenciālu kļūt par daļu no Latvijas biodiplomātijas. Nākamajā solī tika izveidota normalizēta kritēriju pāru salīdzināšanas matrica, lai atvasinātu svarīgumu. AHP analīzes noslēgumā tika iegūti normalizētās kritēriju pāru matricas īpašvektori, lai parādītu svarīgāko kritēriju hierarhisko struktūru. Šo atbilžu kvantificēšana, sarindošana un analīze ir nākamais solis, lai novērtētu dominējošo kritēriju mežsaimniecības diplomātijas potenciālam, pamatojoties uz vienkāršu svēruma shēmu. Turklāt pirms pārejas uz *TOPSIS* analīzi tika veiktas arī noturības pārbaudes (t. i., konsekvences pārbaude) attiecībā uz rezultātu stabilitāti.

Sekojošā iepriekš minētajam, lai pabeigtu AHP analīzi, normalizētās pāru kritēriju salīdzināšanas matricas īpašvektors attēlo svarīgāko kritēriju hierarhisko struktūru pret meža nozares potenciālu Latvijas biodiplomātijas iegūšanai un matricas normalizēšanu. Rezultāti parādīti 2.9. attēlā.



2.9. att. Svarīguma vektors, kas parāda absolūtās nozīmes svaru klasifikāciju.

No visiem 10 iespējamiem kritērijiem, kas varētu ietekmēt mežsaimniecības nozares potenciālu Latvijas biodiplomātijā, svarīgākais ir ekonomiskais faktors, kam seko sociālie, klimata un vides jautājumi.

Veicot atbilstības pārbaudi (2.10. tab.), ir iespējams pamatoti secināt, ka šis ranžējums ir noturīgs pret straujām izmaiņām nosakot svarīguma pakāpi, piemēram atšķirībā ekspertu viedokļos, par ko liecina konsekvenses koeficients (0,07), kas ir mazāks par plaši atzīto sliekšni (0,1).

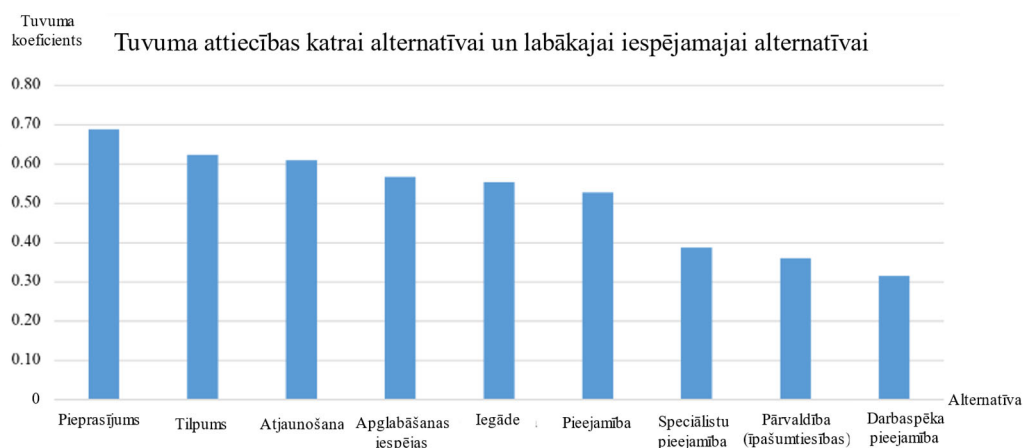
2.10. tabula

AHP algoritma rezultātu konsekvenses pārbaude ar $N = 10$ kritērijiem

Termins	Vērtība
Konsistences indekss	0,11
Nejausās konsistences indekss ($N = 10$)	1,49
Konsistences koeficients	$(0,11/1,49) = 0,07 < 0,1$

Nākamajam solim, lai labāk saprastu, kuras alternatīvas (apjoms (A1), iegāde (A2), pieejamība (A3), atjaunošana (A4), apglabāšanas iespējas (A5), pieprasījuma (A6) pārvaldība/īpašumtiesības (A7), darbaspēka pieejamība (A8) un speciālistu pieejamība (A9)) ir visnozīmīgākās katra kritērija virzīšanai lēmumu pieņemšanas procesā kopumā, tiek izmantota *TOPSIS* analīze. Ar metodi ir iespējams izprast mežsaimniecības resursu potenciālu, ja ņem vērā vairāk faktoru, kas nav saistīti ar divpusēju salīdzināšanu. Sākotnēji tiek izveidota lēmuma pieņemšanas matrica, kurā alternatīvas tiek salīdzinātas savā starpā. Pēc tam matrica tika normalizēta. Matricas normalizēšana ļauj sistemātiski salīdzināt alternatīvas dažādos kritērijos neatkarīgi no pamatā esošā ģenerēšanas procesa. Tad tika noteiktas labākās un sliktākās alternatīvas alternatīvu diapazonā A1–A9. Tas ir, sākot ar to, ka tika noteikts, kura alternatīva ir vispiemērotākā un vismazāk piemērota katram kritērijam.

Lai izceltu labāko alternatīvu diapazonā A1–A9, tika apkopots tuvuma attiecības rangs (2.10. att.).



2.10. att. Alternatīvu prioritātes noteikšana.

Apskatot 2.10. attēlu, var secināt, ka attiecībā uz meža resursiem svarīgākie faktori, kas var palīdzēt noteikt meža resursu potenciālu Latvijas biodiplomātijai, ir to pieprasījums, apjoms, kā arī atjaunošanās, jo tie intuitīvi ir vistuvāk adekvātajai alternatīvai, kad lēmuma pieņēmējs atbilstoši apsver visas alternatīvas. Darbaspēka pieejamība šajā analīzē ir pēdējais svarīgais virzītājspēks.

Pieprasījums, apjoms un atjaunošanās pēc analīzes iet roku rokā, jo, lai izveidotu biodiplomātiju, ir jāsaprot, vai ir pieprasījums, kas tiek uzskatīts par vadošo rādītāju, un vai apjoms apmierinās pieprasījumu. Šie rezultāti nozīmē, ka nākamais solis biodiplomātijas veicināšanā ir izpratne par to, kāda veida mežsaimniecības produkts ir jāattīsta, lai palielinātu pieprasījumu. Šajā produktā jāņem vērā ekodizaina principi, jo apjoms ir nākamais svarīgais virzītājspēks. Atjaunošana ir trešais svarīgais faktors. Protams, nedrīkst aizmirst arī citus virzītājspēkus, kas ir otrā prioritātes daļa, kā speciālistu pieejamība, vadība (īpašumtiesības) un darbaspēka pieejamība, pat tos, kas netiek uzskatīti par galvenajiem jautājumiem biodiplomātijas attīstībā.

2.6. Tālmācības modulis

Tālmācības modulī tiek izmantota sistēmdinamikas metode, kas tiek lietota kā apmācības rīks tiešsaistes kursa (*MOOC*) “Enerģijas pāreja un klimata pārmaiņas” ietvarā.

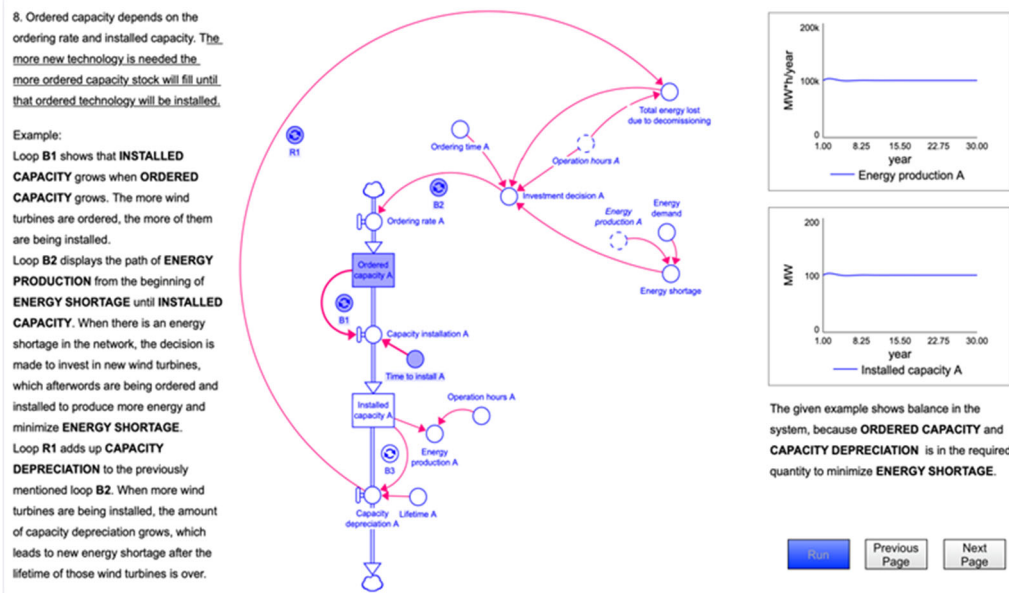
MOOC tika ievietots *Moodle* platformā, ko atbalsta Rīgas Tehniskās universitātes portāls *ORTUS*. Tika izveidota jauna kursa lapa, kas darbojas kā izstrādātā *MOOC* un ietver visus resursus, kas nepieciešami abām daļām – teorētiskajai un praktiskajai. Studiju kursā “Enerģijas pāreja un klimata pārmaiņas” izmantotie praktiskie uzdevumi atšķiras – daži tiek veikti, lai virzītu studenta zināšanas par aprakstīto teoriju daudzizvēļu jeb “patiess/nepatiess” anketu veidā, savukārt daži ietver praktisku darbu ar saskarni, pēc kuras

izmantošanas lietotājam jāatbild uz viktorīnas jautājumiem par rezultātiem, kas sasniegti, manipulējot ar dažādiem mainīgajiem.

MOOC tika nodots testēšanai pieciem studentiem ar padziļinātām zināšanām par sistēmdinamiku un energosistēmām, pēc tam rezultāti tika pārbaudīti strukturētās intervijās. Visi pieci bija Rīgas Tehniskās universitātes studenti, kuri bakalaura studiju laikā pabeiguši sistēmdinamikas kursu.

MOOC “Enerģētikas pārkārtošana un klimata pārmaiņas” ir izstrādāts angļu valodā un paredzēts 100 % apmeklēšanai tiešsaistē. Tas ļauj katram studentam mācīties savā ierastā ātrumā un aplūko trīs svarīgus un savstarpēji saistītus mūsdienu enerģētikas politikas aspektus: energoefektivitāti; atjaunojamo enerģiju; klimata pārmaiņas.

Tālmācības modulī metode tika aplūkota, izmantojot sistēmdinamikas principus, izskaidrojot, kā darbojas enerģētikas nozares piedāvājums un pieprasījums. Kursā ir vairākas daļām. Katrā no tām tika iekļauti praktiski uzdevumi, lai pārbaudītu lietotāju zināšanas pirms studijām, to laikā un pēc tām. Kursa ievaddaļā ir paskaidrots, kas ir klimata pārmaiņas un kā ar tām ir saistīta enerģētikas nozare. Otrajā daļā dziļāk aplūkots enerģētikas nozares piedāvājums un pieprasījums, izmantojot sistēmdinamikas principus. Nākamajā daļā aprakstītas enerģijas lietotāju galveno nozaru (dzīvojamā, rūpnieciskā, sabiedriskā u. c.) galvenās iezīmes attiecībā uz elektroenerģijas un apkures/dzesēšanas sistēmu izmantošanu. Visbeidzot, kursa ievaddaļas pēdējā nodaļā izskaidrota enerģijas pārejas procesa nozīme, iespējas un sarežģījumi.



2.11. att. Saskaņā, kurā paskaidrots, kā tiek veidota energoapgādes nozares krājumu un plūsmu struktūra.

2.7. Zinātniskās pētniecības modulis

Vides inženierijas studentiem studiju kursu darbu un noslēguma darbu izstrādē tiek piedāvāta iespēja izvēlēties gan kvalitatīvo, gan kvantitatīvo zinātniskās izpētes metodi.

Ilggadīgā studiju procesā apkopotie dati liecina, ka 80–85 % studējošo izvēlas kvalitatīvo metodi. Tādēļ promocijas darbā pētniecības jomu piemēri izvēlēti tā, lai ilustrētu kvalitatīvo zinātnisko metožu izmantošanas iespējas.

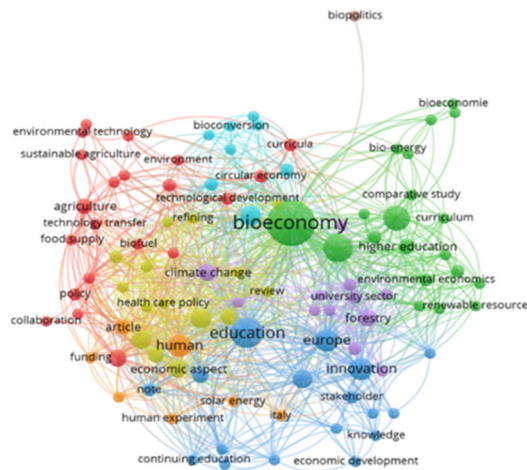
Autore zinātniskās izpētes demonstrāciju īsteno ar četrus gadījuma rakstura zinātniskās izpētes piemēriem.

1. modulis. Bibliogrāfiskās analīzes modulis. Meklēts un analizēts bioekonomikas nozares zinātniskās izpētes jomas svarīgums, kā arī saite ar bioekonomikas izglītību saistībā ar Eiropas Savienības klimata politikas Zaļo kursu.
2. modulis. Bezatlīkumu produktu ražēšanas modulis. Meklētas un analizētas bioproduktu (kliju pārkraušanas atkritumu) ražotnes blakusproduktu izmantošanas iespējas produktu ražošanai ar augstu pievienotu vērtību.
3. modulis. Bezatlīkumu tehnoloģiju ražēšanas modulis. Meklētas un analizētas ražotnes blakusproduktu pārstrādes tehnoloģisko procesu izmantošanas iespējas.
4. modulis. Energoresursu lietotāja pārvaldības modulis. Meklētas un analizētas agregatoru iespējas un potenciāls.

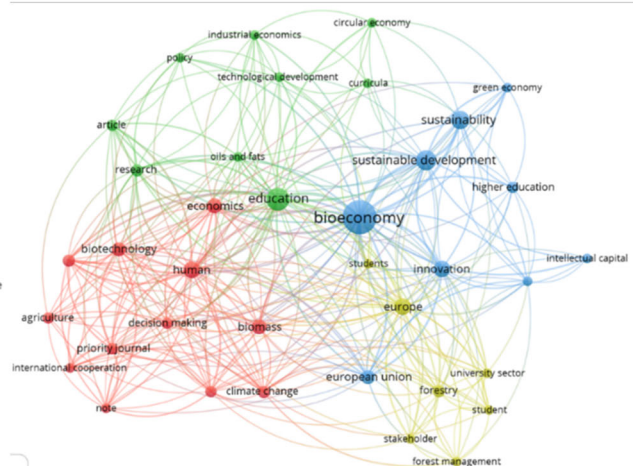
Bibliometriskās analīzes modulis

Bibliometriskās analīzes modulī galvenā uzmanība tika pievērsta pētījumiem zinātniskajā literatūrā, kas saistīta ar bioekonomikas nozares izpētes jomas svarīgumu, kā arī saistīta ar Eiropas Savienības klimata politikas Zaļo kursu un bioekonomikas izglītību. Šajā modulī tika izmantota bibliometriskā metode, izmantojot programmatūru *VOSViewer*.

Sākotnēji tika parādīta saikne starp zinātniskiem rakstiem, izmantojot vārdus “izglītība” un “bioekonomika” (raksti atlasīti, sākot no 2012. gada), kas redzami 2.10. attēlā, attiecīgi vārdu atkārtotības biežums secīgi ir – divas un trīs reizes. Minimālais vārdu atkārtotības biežums tika mainīts, jo tika uzskatīts, ka vārdu savienojums ir jāvizualizē ar saistošiem vārdiem. 2.10. A attēlā parādīts 101 atslēgvārds, veidojot astoņas tematiskās kopas, 2.10. B attēlā – 37 atslēgvārdi, kas veido četras tematiskās kopas.



A) Atslēgvārdu minimālais parādīšanās biežums ir 2 reizes



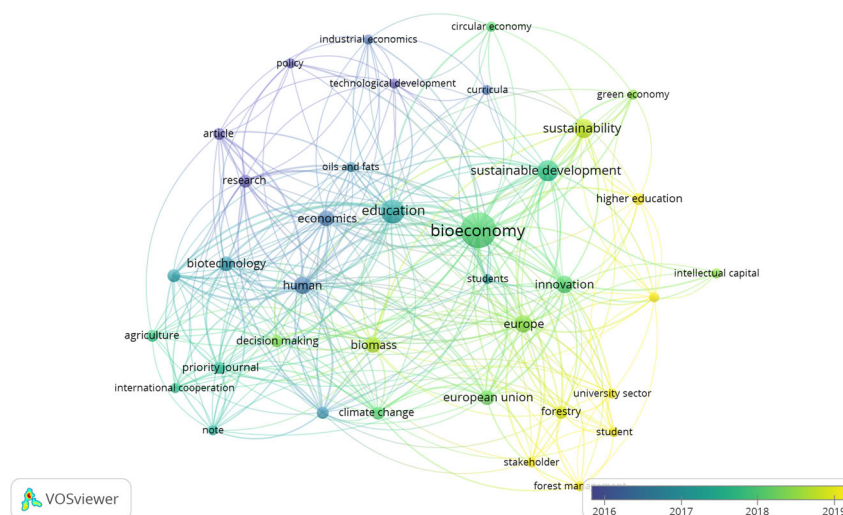
B) Atslēgvārdu minimālais parādīšanās biežums ir 3 reizes

2.10. att. Bibliogrāfijas vizualizācija ar vārdu salikumu “izglītība” UN “bioekonomika” kopš 2012. gada. (A) minimālais vārdu atkārtotības biežums – divas reizes; B) minimālais vārdu atkārtotības biežums – trīs reizes.

Izņemot vārdus “bioekonomika” un “izglītība”, 13 zinātniskajos rakstos visbiežāk sastopamais jēdziens ir “ilgtspējīga attīstība” (23 saites), 11 zinātniskos rakstos ir “ilgtspēja” (14 saites) un 9 zinātniskos rakstos “cilvēks” (28 saites), “inovācija” (22 saites), “Eiropa” (30 saites). Visvairāk tiek izmantoti jēdzieni “bioekonomika” un “izglītība”, un tie parādās lielākajā daļā publikāciju. Vārdi “cilvēks”, “inovācija” un “Eiropa” parādās mazāk pētījumos nekā vārdos “ilgtspējīga attīstība” un “ilgtspēja”, taču tiem ir lielāka saikne ar citiem tīkla atslēgvārdiem, kas nozīmē, ka autori rakstos izmanto biežāk lietotu valodu un vārdus, lai atspoguļotu turpmāko zinātnisko tēmu attīstību un to nozīmi zinātnē.

Bibliometriskajā tīklā ar vārdu salikumiem “izglītība” un “bioekonomika”, izmantojot atslēgvārdu minimālo parādīšanās biežumu trīs reizes, turpmāk tika klasteretas četras tematiskās kopas: bioekonomikas un izglītības sasaiste lauksaimniecības nozarē (1. klasteris); bioekonomikas un rūpniecības izglītības sasaiste (2. klasteris); bioekonomikas un izglītības sasaiste ar inovācijām (3. klasteris); bioekonomikas un izglītības sasaiste ar mežsaimniecību (4. klasteris).

1. klasterī ir atslēgvārdi, kas saistīti ar cilvēku iesaistīšanos lauksaimniecībā un bioekonomikas attīstību, izmantojot biotehnoloģijas, kur zināšanas ir būtiskas. Izglītības nepieciešamība industriālajā ekonomikā raksturo atslēgvārdus 2. klasterī, kur būtu jāapsver tehnoloģiju attīstība un pētniecība. 3. klastera atslēgvārdi ir saistīti ar inovāciju nepieciešamību bioekonomikā, kas būtu jā dara, iesaistot augstāko izglītību ilgtspējīgai attīstībai. 4. klasteris pārstāv mežsaimniecības nozares un studentu izglītības nepieciešamību bioekonomikas attīstībai.



2.11.att. Bibliogrāfijas (hronoloģiskā) vizualizācija ar vārdu salikumu “izglītība” un “bioekonomika” kopš 2012. gada (minimālais vārdu atkārtosanas biežums – trīs reizes).

2.11.attēlā redzams atslēgvārdu hronoloģiska parādīšanās zinātniskajā literatūrā pētījumos, kur atslēgvārdi dzeltenā krāsā, piemēram, “meža apsaimniekošana”, “mežsaimniecība”, “ieinteresētā persona”, “students” u. c., vairāk parādās jaunākajās publikācijās, piemēram, 2019. gadā. Tiek parādīti jaunākie sasniegumi pētniecībā, kas tiek aplūkoti mežsaimniecības nozarē. Pētnieki apsvērs inovatīvākus atslēgvārdu lietojumus mežsaimniecības nozarē bioekonomikas attīstībai ar izglītības palīdzību.

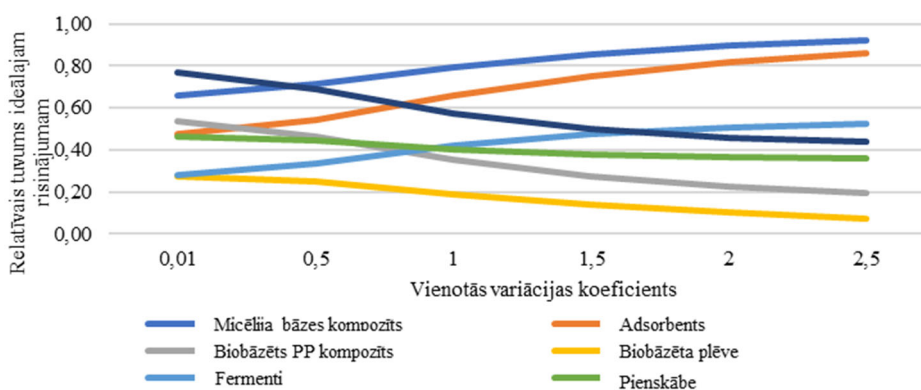
Bezatlīkumu produktu ražošanas modulis

Bezatlīkumu produktu ražošanas modulī meklētas un analizētas bioproduktu (kliju pārkraušanas atkritumu) ražotnes blakusproduktu izmantošanas iespējas produktu ražošanai ar augstu pievienotu vērtību, izmantojot kvalitatīvās pētniecības metodes. Tika apkopota informācija par graudu blakusproduktu izmantošanas iespējām jaunu produktu izstrādei un novērtēti, kuri kliju produkti ir vispiemērotākie komercializācijai, pamatojoties uz ekonomiskiem, vides, sociāliem un tehniskiem faktoriem.

Pēc literatūras apskata tika apkopoti 30 produkti. Pētītie produkti tika iegūti no četriem kviešu blakusproduktiem – klijām, salmiem, miziņām un putekļiem. No šiem blakusproduktiem visplašāk tiek izmantotas klijas, savukārt putekļus izmanto, lai ražotu tikai vienu produktu – biobāzētu iepakojumu. Produkti tika iedalīti sešās grupās: iepakojuma materiāli; būvmateriāli; adsorbenti; kurināmais; siltumizolācijas materiāli; ķīmiskās vielas.

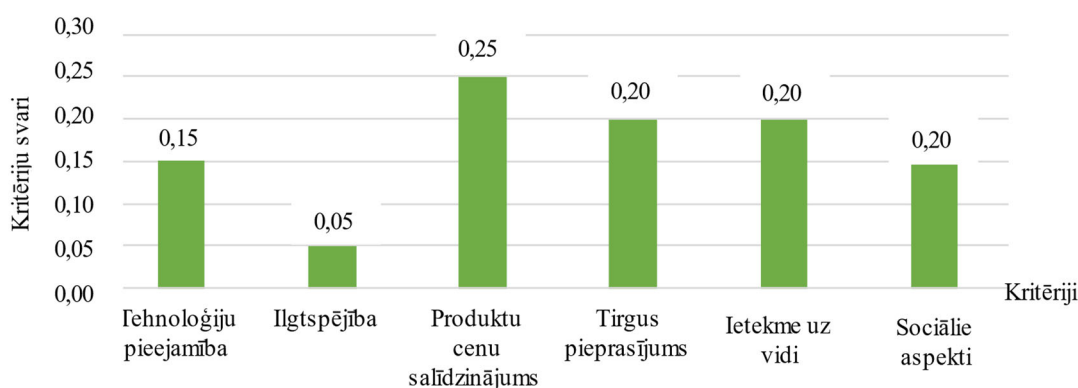
No pārskatītajiem produktiem *MCDA* vajadzībām tika atlasīti septiņi produkti. No visām produktu grupām kurināmais un būvmateriāli tālāk apsvērti netika, jo šiem produktiem nav salīdzinoši augstas pievienotās vērtības. Tika konstatēts, ka kviešu klijas ir visplašāk izmantotā izejviela, tāpēc to produkti tika pārbaudīti *MCDA*. Tika izvēlēti šādi galvenie kritēriji: tehnoloģiju pieejamība; ilgtspēja; produktu cenu salīdzinājums; tirgus pieprasījums; ietekme uz vidi; sociālie aspekti.

Nākamajā solī tika noteikti kritēriju svāri, izmantojot jutīguma analīzi. Jutīguma analīze parādīja, ka ilgtspējas aspektam ir viszemākā jutība pret svāra izmaiņām, ko var noteikt arī, aplūkojot ievades datus, jo visas alternatīvas ieguva 4 līdz 5 punktus. Tāpēc šim kritērijam tika piešķirts zemākais svārs (0,05). Arī tehniskajiem un sociālajiem aspektiem bija nelielas svāra izmaiņas, salīdzinot ar citiem kritērijiem, tāpēc tiem tika piešķirts svārs 0,15. Ietekme uz vidi un tirgus pieprasījums kļuva jutīgāki pret svāra izmaiņām, kad vienotais mainīgais koeficients svārstījās no 0,5 līdz 1,5, tāpēc šiem kritērijiem piešķirtā nozīme ir 0,2. Uz svāra izmaiņām visvairāk reaģēja produkta cenu salīdzinājums, visticamāk, tāpēc, ka ievades dati atšķīrās vairāk, tie netika izteikti piecu punktu skalā. Šī kritērija jutīguma analīzes rezultāti grafiski parādīti 2.12. attēlā.



2.12. att. Jutīguma analīzes rezultāti produktu cenu salīdzināšanai.

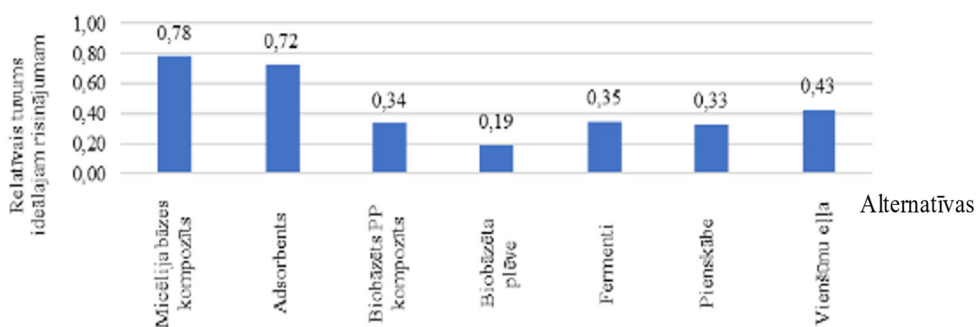
Visu kritēriju svārs redzams 2.13. attēlā.



2.13. att. Kritēriju svārs TOPSIS.

TOPSIS aprēķini tika veikti, izmantojot ievades datus un iegūtos kritēriju svārus. Iegūtie rezultāti grafiski parādīti 2.14. attēlā. Rezultāti parādīja, ka vislielākais relatīvais tuvums analizēto produktu ideālajam variantam ir biokompozīta materiālam uz micelija bāzes. Tas galvenokārt ir saistīts ar salīdzinoši augsto produktu cenu atšķīrību. Ja šis kritērijs nebūtu ņemts vērā, visaugstāko rezultātu būtu ieguvusi viensūnas eļļa, ko var redzēt, aplūkojot

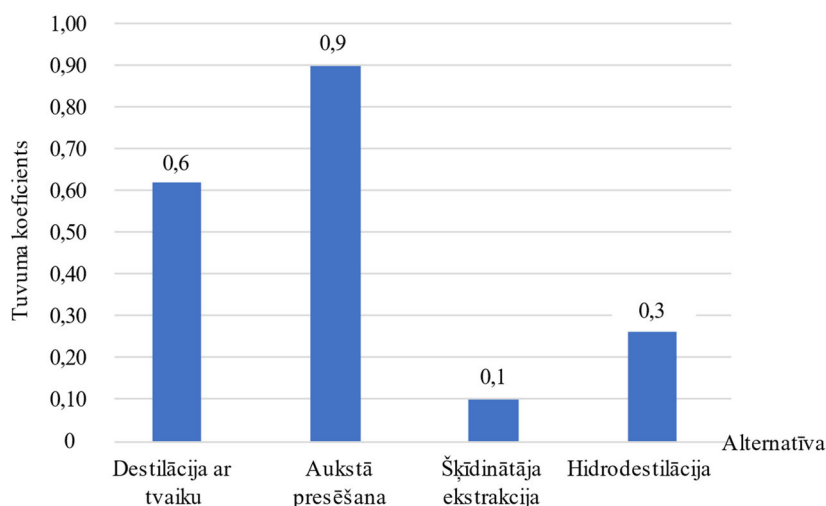
ievades datus. Adsorbentam ir arī salīdzinoši labi rezultāti, jo tā cena un ietekme uz vidi ir daudz zemāka nekā pašlaik izmantotajiem adsorbentiem. Sliktāko rezultātu ieguva pārtikas plēve ar antioksidantu īpašībām. Tas ir tāpēc, ka dati par šo produktu tika izmantoti parametri no *PLA* un *PLA* tika salīdzināts ar *LDPE*, kam patlaban ir zemākas ražošanas emisijas un cenas nekā bioplastmasai. Arī bioplastmasai ir mazāks tirgus pieprasījums, kas būtu jāuzlabo. Produkta parametri ir labāki, jo tos iegūst no klijām, nevis kukurūzas, ar atšķirīgām ekstrakcijas īpašībām, piemēram, ūdens patēriņu, un ražu.



2.14. att. *TOPSIS* rezultāti.

Bezatlīkumu tehnoloģiju ranžēšanas modulis

Zinātniskās pētniecības modulī, konkrētāk – bezatlīkumu tehnoloģiju ranžēšanas modulī, tika izmantota kvalitatīvās pētniecības metode, bioekonomikas risinājumus skatot tehnoloģiju potenciālā lietojuma kontekstā. Izmantojot šo metodi, tika veikts salīdzinājums, lai izvēlētos labāko ēterisko eļļu ekstrakcijas tehnoloģiju no augļu atkritumiem. Modulī tika izmantotas daudzkritēriju analīzes metodes AHP un *TOPSIS*. Tika novērtētas četras dažādas ekstrakcijas metožu pieejas, t. i., tvaika destilācija, aukstā presēšana, ekstrakcija ar šķīdinātāju un hidrodestilācija. Salīdzinot ekstrakcijas metožu pieejas, tika ņemti vērā vides, ekonomiskie, sociālie un tehnoloģiskie kritēriji. Pēc aprēķiniem tika konstatēts, ka tehnoloģiskā kritērija svars ir vissvarīgākais ar rezultātu 0,45, otrs būtiskākais svars ir ekonomiskais ar rezultātu 0,25, trešais un ceturtais kritērijs ir vides un sociālais, attiecīgi – 0,22 un 0,08.



2.15. att. *TOPSIS* ranžēšanas tehnoloģiju rezultāti.

TOPSIS analīzes rezultāti parādīti 2.15. attēlā. Aukstā presēšana ir tuvākā alternatīva labākajam risinājumam (rezultāts – 0,9). Tvaika destilācija ierindojas otrajā vietā, iegūstot novērtējumu 0,6, savukārt trešais iespējamais tehnoloģiskais risinājums ir hidrodestilācija ar rezultātu 0,3. Šķīdinātāja ekstrakcijas rezultāts ir 0,1.

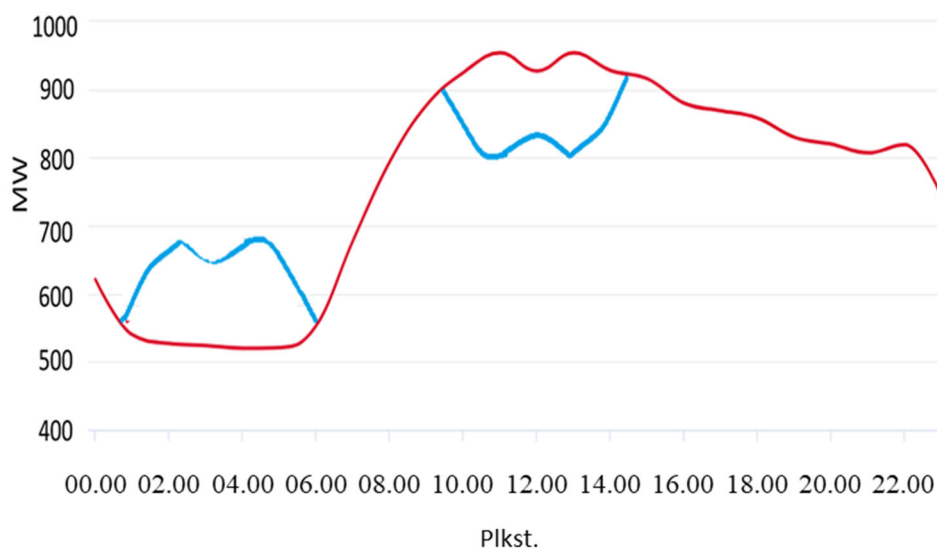
Energoresursu lietotāja pārvaldības modulis

Gadījuma izpēte vides inženierijas izglītības attīstības kontekstā raksturo vienu no pētniecības virzieniem vides inženierijas apakšnozarē – energoresursu lietotāju pārvaldību. Energoresursu lietotāja pārvaldības moduli galvenais centrālais kvalitatīvās izpētes objekts ir agregatora ieviešanas potenciāla izpēte. Izpētes jautājumu paplašināšana nodrošina inovāciju attīstību, zināšanu un to potenciālo lietojumu.

Tika konstatēts, ka agregatoram vajadzētu būt iespējai piedalīties visu veidu elektroenerģijas tirgos. Lai gan patlaban agregatora darbība notiek galvenokārt balansēšanas tirgū, kļūstot par balansēšanas pakalpojumu sniedzēju tiek aktivizēta balansēšanas enerģija, lai nodrošinātu līdzsvaru elektroenerģijas sistēmā. Tikai 2020. gada sākumā Latvijas Ministru kabinets apstiprināja pirmos noteikumus par agregatoru darbību Latvijā. Latvijas likumdošana nosaka, ka agregators ir jauna veida energopakalpojumu sniedzējs, kas var palielināt vai samazināt patērētāju grupas elektroenerģijas patēriņu atbilstoši kopējam elektroenerģijas pieprasījumam tīklā, tādējādi ļaujot patērētājam kļūt elastīgam.

Apkopošanai (agregēšanai) tika izšķirtas divas dažādas pieejas – māsaimniecību (kopējais elektroenerģijas apjoms ir daudz mazāks) agregācijai un agregācijai apstrādes rūpniecībā. Agregatoram, kas strādā ar māsaimniecībām, būtu nepieciešams liels māsaimniecību portfelis, lai radītu ietekmi un veiktu rentablu uzņēmējdarbību. Agregatoram ir jābūt vismaz 10 000 patērētājiem, kuri ietaupa 5 kWh dienā, lai padarītu to par rentablu biznesu. Piemēram, vispārējs pārskats par elektroierīču tiešsaistes piedāvājumiem paredz, ka centrālais gaisa kondicionieris/siltumsūkņis vidēji patērē ap 5–15 kW stundā, tāpēc

elektroenerģijas patēriņa samazinājums par 5 kWh dienā nav tik liels, ņemot vērā to, ka daļa elektroenerģijas daudzuma vēl tiktu patērēta, bet citā diennakts laikā, kad elektrības cenas ir zemākas. Piemēram, 2.16. attēlā redzams elektroenerģijas pieprasījums Latvijā 2020. gada 3. augustā, sarkanā līnija ir faktiskais pieprasījums. Ar zilo līniju autore parāda, kā agregators varētu izlīdzināt pieprasījumu pīķa stundās, novirzot to uz citu diennakts laiku.



2.16. att. Elektroenerģijas patēriņš MWh/stundā Latvijā 2020. gada 3. augustā.

Ja agregatoram ir agregācijas līgumi ar 10 000 patērētājiem, kas dienā samazina vismaz 1 kWh (nevis 5 kWh, jo lielākā daļa no kopējā apjoma tiek pārvietota uz citu uz citu atskaites periodu un netiek samazināta), pēc aptuveniem aprēķiniem tie ir 10 MWh dienā vai 3650 MWh gadā. Latvijas elektroenerģijas patēriņš gadā ir ap 7 TWh. Tas nozīmē, ka agregators varētu samazināt gada elektroenerģijas patēriņu Latvijā vismaz par 0,05 %. Tas var nešķist daudz, taču vienam agregatoram tas nav slikts rezultāts un varētu kalpot arī kā līdzeklis nacionālo enerģētikas un klimata mērķu sasniegšanai.

SECINĀJUMI

- Ar daudzpusīgu metožu izmantošanu var novērtēt pastāvīgu zināšanās un kompetencēs balstītu ilgtspējīgu vides inženierijas izglītību, analizējot to trijos līmeņos: akadēmiskā augstākā izglītība; mūžizglītība; zinātniskā jaunrade.
- Klimatneitralitātes un Zaļā kursa mērķus iespējams sasniegt, ja tiek īstenota zināšanās un kompetencēs balstīta vides inženierijas izglītība akadēmiskās augstākās, mūžizglītības un zinātniskās jaunrades līmeņos.
- Ar bibliometrisko metodi bibliometriskās analīzes modulī var meklēt un analizēt bioekonomikas nozares zinātniskās izpētes jomas svarīgums, kā arī saikni ar bioekonomikas izglītību Eiropas Savienības klimata politikas Zaļā kursa ietvaros.
- Ilgtspējīgas inovācijas un bioekonomikas rādītāji un ilgtspējīgas attīstības kompetences bioekonomikas izglītībā ietver starpdisciplināro kompetenci, mācīšanās kompetenci, transdisciplināro kompetenci un sistēmiskās domāšanas kompetenci, prognozēšanas kompetenci, normatīvo kompetenci, stratēģisko kompetenci un starppersonu kompetenci. Visas šīs kompetences ir svarīgas bioekonomikas mērķu īstenošanai un pārejai uz zināšanās balstītu ilgtspējīgu bioekonomiku.
- Daudzfaktoriālās analīzes rezultāti liecina, ka lekcijas, objektu apmeklējumus, grupu kursa darbus un laboratorijas darbus kopā ar lomu spēļu simulācijām ir jāiesaista lielākajā daļā studiju procesa. Ar izstrādāto vērtēšanas sistēmu var novērtēt vides inženierijas studiju programmu.
- Koprades īstenošanas modulī, analizējot uzņēmuma pārstāvju atsauksmes, pētījuma autore var secināt, ka uzņēmums noteiktas vajadzības sāk apzināties tikai pasākuma beigās. Cieša sadarbība ar akadēmisko personālu ļauj identificēt slēptos mērķus. Aptaujas rezultāti liecina, ka kopumā dalībnieki ir apmierināti ar pašu notikumu un tā rezultātu. Komandas locekļi augstu novērtē savu ieguldījumu komandas kopējā rezultātā un pieņem, ka gūtā pieredze palīdzēs viņiem veiksmīgāk sasniegt rezultātus nākotnē.
- Kā liecina daudzfaktoriālās analīzes rezultāti, augstākās akadēmiskās izglītības attīstība realizējama, izmantojot inovatīvas metodes, līdzekļus un rīkus.
- Meža resursiem ir potenciāls kļūt par būtisku Latvijas biodiplomātijas sastāvdaļu. Politikas veidotājiem būtu jāveido biodiplomātija, jāņem vērā tās galvenie virzītājspēki kā piemēram, pieprasījums, apjoms un atjaunošana.
- Uzvedības simulācijā tika sasniegts: (1) lomu spēles mērķis – sadalīt *Covid-19* ārkārtas atveseļošanas atbalsta finansējumu, ņemot vērā ES bioekonomikas stratēģijas mērķus un

Covid-19 ietekmi uz primāro resursu ražošanu un izmantošanu starp trim galvenajām bioresursu grupām: mežsaimniecība; lauksaimniecība; zivsaimniecība un akvakultūras; (2) ņemot vērā gūtās atziņas, idejas jāiesniedz Ministru kabinetam, pašvaldībām, dažādām atbildīgajām institūcijām u. c.; (3) lauksaimniecības grupas dalībnieki ir apguvuši biodiplomātijas kompetences bioekonomikas kontekstā, kas raksturo biodiplomātus. Jo augstāks ir kategorijas kritēriju novērtējums attiecīgajai kompetencei, jo lielāka iespēja, ka tiks sasniegti Zaļā kursa mērķi.

- Izveidotais mūžizglītības studiju ietvars rāda pieeju Zaļā kursa un klimatneitralitātes mērķu sasniegšanai, izmantojot kopradi, veikspēju un politisko instrumentu integrēšanu.
- Izmantojot sistēmiskās domāšanas teoriju un prizmu ar darbā izstrādāto tālmācības moduli var iegūt atbilstošas kompetences, lai risinātu pašreizējās un nākotnes enerģijas un klimata problēmas.
- Kā liecina kvalitatīvie un daudzfaktoriālās analīzes rezultāti, zinātnē balstīta izglītība un zinātniskā jaunrade veicina komercializāciju un jaunu ideju attīstību.
- Ar kvalitatīvās pētniecības metodi bezatlikumu tehnoloģiju ranžēšanas modulī var meklēt un analizēt ražotnes blakusproduktu pārstrādes tehnoloģisko procesu izmantošanas iespējas.



Antra Kalnbalķīte dzimusi 1992. gadā Rīgā. Rīgas Tehniskajā universitātē (RTU) ieguvusi bakalaura (2014) un maģistra (2017) grādu vides zinātnē. Kopš 2015. gada strādā RTU Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūtā, ieņemot pētnieces amatu. Zinātniskās intereses saistītas ar ilgtspējīgu vides inženierijas izglītības attīstību.