

Svetlana Jurenoka

IZGLĪTOJAMĀ ZINĀŠANU LĪMENĪ BALSTĪTA ADAPTĪVA MĀCĪBU PLĀNA ĢENERĒŠANAS METOŽU UN MODEĻU IZSTRĀDE

Promocijas darba kopsavilkums



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte

Lietišķo datorsistēmu institūts

Svetlana Jurenoka

Doktora studiju programmas “Datorsistēmas” doktorante

**IZGLĪTOJAMĀ ZINĀŠANU LĪMENĪ BALSTĪTA
ADAPTĪVA MĀCĪBU PLĀNA ĢENERĒŠANAS
METOŽU UN MODEĻU IZSTRĀDE**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
profesors *Dr. habil. sc. ing.*
JĀNIS GRUNDSPEŅĶIS

RTU Izdevniecība
Rīga 2023

Jurenoka S. Izglītojamā zināšanu līmenī balstīta adaptīva mācību plāna ģenerēšanas metožu un modeļu izstrāde. Promocijas darba kopsavilkums. – Rīga: RTU Izdevniecība, 2023. – 40 lpp.

Iespiests saskaņā ar Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātes Lietišķo datorsistēmu institūta padomes 2023. gada 21. aprīļa lēmumu, protokols Nr. 12300-1-e/6 un promocijas padomes “RTU P-07” 2023. gada 4. jūlija lēmumu, protokols Nr. 23-4.

<https://doi.org/10.7250/9789934229534>
ISBN 978-9934-22-953-4 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2023. gada 4. oktobrī plkst. 14.30 Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātē, Rīgā, Zunda krastmala 10, 103. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. ing.* Jānis Grabis,
Rīgas Tehniskā universitāte

Asociētais profesors *Dr. sc. ing.* Arnis Cīrulis,
Vidzemes Augstskola, Latvija

Profesors *Dr. sc. ing. Cristian-Emil Moldoveanu,*
Militārā tehniskā akadēmija "Ferdinands I", Rumānija

APSTIPRINĀJUMS

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

Svetlana Jurenoka..... (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 43 attēli, 14 tabulu, seši pielikumi, kopā 133 lappuses, ieskaitot pielikumus. Literatūras sarakstā ir 194 nosaukumi.

Saturs

Ievads.....	5
1. Adaptīvas mācību pārvaldības sistēmas esošās situācijas analīze.....	12
2. Adaptīva mācību plāna novērtēšanas modeļa izstrāde	14
3. Adaptīva mācību plāna pārkonfigurēšanas metodes izstrāde	20
4. Izstrādāto metožu un modeļu eksperimentāla pārbaude.....	26
4.1. Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modeļa aprobācija ar statisko mācību plānu	26
4.2. Adaptīva mācību plāna ģenerēšanas algoritma aprobācija ar determinētu mācību procesa īstenošanas laiku	29
4.3. Adaptīva mācību plāna ģenerēšanas algoritma aprobācija zināšanu līmeņa līdzsvarošanai	32
Darba kopējie rezultāti, secinājumi un turpmākie pētījumi.....	36
Bibliogrāfiskais saraksts.....	39

IEVADS

2020. gadā saistībā ar *Covid-19* izplatību gan Latvijā, gan citās valstīs pasaulē izglītības sistēmas bija spiestas pāriet uz attālināto formātu, kas veicināja mācību līdzekļu digitalizāciju un mācību pārvaldības sistēmu ieviešanu izglītības iestādēs. Saskaņā ar Valsts izglītības satura centra (VISC) īstenotā projekta “Kompetenču pieeja mācību saturā” (Skola2030) koncepciju (Skola2030, 2022a) e-mācīšanās platforma tiks integrēta kā galvenā mācību resursu uzglabāšanas vieta, kas būs pieejama gan pedagogiem, gan izglītojamiem pirmsskolas izglītības iestādēs un skolās.

Mūsdienās ir liels skaits daudzveidīgu sistēmu, kas nodrošina atbalstu attālinātām mācībām, starp kurām nozīmīgu vietu ieņem adaptīvas sistēmas, jo tās realizē uz izglītojamo centrētu un viņai/viņam piemērotu mācību procesu (Jurenoka un Grundspeņkis, 2023).

Adaptīvas mācību sistēmas tika minētas jau 20. gadsimta beigās (Bruha, 1989; Lee, 2001; Stern un Woolf, 1998), un šo sistēmu pamatuzdevums ir vadīt un kontrolēt katram izglītojamam vai izglītojamo grupai pielāgotu mācību procesu, balstoties izglītojamā īpašībās un mācību procesa apguves ātrumā, kas nodrošina uz lietotāju virzītu atbalstītu un uzlabotu mācīšanos. Adaptīvas mācību sistēmas mērķis ir radīt elastīgu vidi, kas nodrošina mācību procesu, ņemot vērā katra izglītojamā spējas mācīties, vajadzības un citas īpašības (Brusilovsky u. c., 1998; Chen, 2008).

Patlaban mācību saturs, neskatoties uz izglītības formas veidu (klātienēs, neklātienēs vai tālmācības forma), tiek pielāgots izglītojamam ar vidēju zināšanu līmeni. Mācību plāna izstrāde tiek realizēta galvenokārt manuālā formātā, kad mācību procesa administrators, pamatojoties uz izglītojamā zināšanu līmeni, izvēlas piemērotu zināšanu apguves ātrumu un mācību moduļu secību mācību plāna ietvaros.

Zināšanu kontrolei digitālajās mācību platformās tiek izmantoti testi. Tests ir standartizēta zināšanu un prasmju pārbaude, kurā var būt iekļauti dažāda veida uzdevumi. Tie ir izmantojami gan ievadvērtēšanā, gan formatīvajā vērtēšanā, gan summatīvajā jeb gala zināšanu vērtēšanā (Jonāne, 2011). Vērtēšanas rezultāti norāda, kādā apjomā ir apgūts mācību programmas saturs, kas ļauj noteikt informācijas apgūšanas ātrumu un izglītojamā spējas piedalīties mācību procesā.

Adaptīvas mācību pārvaldības sistēma (AMPS) ir rīks, kas pielāgo izglītojamam personalizētas mācības un nodrošina viņam/viņai iespēju kontrolētā veidā piekļūt mācību saturam (Moisa, 2013).

Mūsdienās ir daudz viedokļu par AMPS. Par tās trūkumu tiek uzskatīta saņemto zināšanu novērtēšanas metodika, kas izglītojamā iegūtās kompetences vērtē, balstoties zināšanu validācijas moduļos, novērtējot rezultātu noteiktā laika periodā. Mācību procesa īstenošanas laikā mācību viela tiek pasniegta secīgi, un laika gaitā zināšanu līmenis samazinās, jo izglītojamais pēc mācību vielas apgūšanas daļu no apgūtā aizmirst, un tas nosaka izglītojamā zināšanu līmeni pēc mācību procesa pabeigšanas (Lange, 1983). Mācību programmas apgūšanas beigās noslēguma vērtējumā izglītojamam ir atšķirīgs zināšanu līmenis apgūtajās kompetencēs.

Neskatoties uz to, ka mūsdienu mācību pārvaldības sistēmas (MPS) var nodrošināt pilnu

izglītošanas procesu, izmantojot iepriekš aprakstīto informācijas pasniegšanas veidu, ne vienmēr informācijas pasniegšanas veids ir pieņemams visiem izglītojamiem. Savukārt, izmantojot AMPS, izglītojamam pašam ir jāizvēlas modulis un jāpielāgojas mācību kursa īstenošanas prasībām. Izmantojot MPS ar iepriekš definētu mācību plānu, izglītojamais nevar izvēlēties savām vajadzībām atbilstošu mācību stilu – 39 % gadījumu tas ir iemesls mācību pārtraukšanai, 40 % gadījumu – iemesls, lai izlaistu nesaprotamu vai grūti apgūstamu vielu un apgūtu to, izmantojot citas sistēmas vai kursus (*Jurenoks, 2017*). Var secināt, ka AMPS trūkums ir saistīts ar automatizētu mācību plāna pielāgošanu izglītojamā zināšanu līmenim un spējām apgūt mācību saturu.

Mūsdienu AMPS var iedalīt divās kategorijas (*Koch, 2001*):

- sistēmas ar iepriekš sagatavotu saturu, kur izstrādātais vadības modulis ir lokalizēts noteiktu uzdevumu izpildei un nevar tikt pielāgots citai mācību programmai;
- adaptīvas mācību kursa izstrādes sistēmas, kas nodrošina mācību plāna izstrādi, balstoties uz sistēmā iekļauto adaptācijas procesa vadības moduli.

Ir palielinājies to pētījumu skaits (*Chen un Wang, 2021; Balogh u. c., 2019*), kas ir saistīti ar mācīšanas procesa un rezultātu vērtēšanas posma automatizāciju, pielīdzinot procesa īpatnības klātienē īstenošanas formai, kas ļauj pielāgot mācību saturu un mācību vielas pasniegšanas stratēģiju katram lietotājam dažādā vecumā un sociālajās grupās.

Tēmas aktualitāte

Pēdējos gados pieaudzis tādu pētījumu skaits, kas saistīti ar e-mācību platformu izmantošanu izglītībā un jautājumiem, kas attiecas uz mācību satura adaptācijas iespējām izglītojamā zināšanu līmeņiem. Mūsdienīgus pētījumus var iedalīt divās kategorijās.

- Pētījumi (*Ciloglugil un Inceoglu, 2018; Verkhova u. c., 2021*), kas saistīti ar adaptīvas mācību platformas integrācijas iespējām, aizstājot esošo mācību satura pasniegšanas formu ar attālināta mācību procesa nodrošināšanu. Pētījumos ir apskatīti jautājumi, kas saistīti ar mācību satura digitalizācijas prasībām un metodēm, nodrošinot lekciju transformāciju e-mācību platformās. Ir identificēts, ka pāreja uz attālināto mācību formu pozitīvi ietekmē gan izglītojamo iespējas pabeigt iesāktās studijas, gan mācību materiāla kvalitāti. Ir atklāts, ka nav vienotas datorizētas platformas, kas spēj realizēt visu klātienē mācību satura pasniegšanas formu transformāciju digitālajā formātā. Esošās plaši izmantotās mācību satura platformas galvenokārt pilda datu uzglabāšanas uzdevumus, nenodrošinot mācību satura pielāgošanu izglītojamā vajadzībām.

- Pētījumi, kas saistīti ar mācību satura pielāgošanu izglītojamā vajadzībām, apskata mācību satura personalizācijas metodes (*Sharma u. c., 2020; Tkachenko un Tyrkov, 2022*), kas nodrošina e-mācību līdzekļu pielāgošanu, balstoties izvēlētajā scenārijā. Daži raksti (*Ibiyomi u. c., 2022; Sihombing u. c., 2020*) piedāvā izmantot Feldera–Silvermanes (*Felder-Silverman*) mācību stila modeli (*FSLSM*), kas, izmantojot četras dimensijas uztverē, apstrādē, ievadē un sapratnē, klasificē mācību stilus, balstoties izglītojamam uzdotajos jautājumos. Citos pētījumos (*Muhammad u. c., 2022; Pratap u. c., 2022*) tiek piedāvāts ģenerēt mācību saturu, izmantojot grafu teorijas metodes, bet, iesākot mācību kursu, mācību plāna izstrādi balstīt īsākā ceļa meklēšanas algoritma lietojumā, izmantojot izglītojamā zināšanu līmeni un mācību plāna

apgūšanai paredzēto laiku.

Samērā nesen (*Arnaudova, 2022*) tika publicēti pētījuma rezultāti, kas saistīti ar izglītojamā modeļa izmantošanu mācību pārvaldības sistēmu vadībai. Pētījumā par būtisku trūkumu tiek uzskatītas izglītojamā modeļa ģenerēšanas metodes, kas saistītas ar mācību procesam atvēlētā laika palielinājumu, pievienojot zināšanu validācijas procesus.

Rīgas Tehniskajā universitātē pēdējos gados ir pētīti jautājumi, kas saistīti ar mācību sistēmu projektēšanu un izstrādi. Pētījumi veikti studenta modeļa izstrādē (*Lukašenko, 2012*), studenta emociju atpazīšanā (*Petroviča, 2019*), pedagoģiskajos aspektos (*Rollande, 2015*). Ir veikti pētījumi, kas saistīti ar mācību satura transformācijas iespējām, noteikta mācību kursa satura un zināšanu pārbaudes formas transformāciju e-mācību vidē (*Volodko u. c., 2021*), attālināto mācību platformu klasifikācijā un motivācijas metožu lietojumā mācību procesa nodrošināšanai, izmantojot satura personalizācijas pieejas *Moodle* satura pārvaldības platformā (*Kapenieks, 2021*).

Mācību procesa gaitā zināšanu līmenis samazinās, jo izglītojamais pēc mācību vielas apgūšanas daļu no apgūtā aizmirst. To var novērtēt ar zināšanu aizmirstības parametru, ar ko var noteikt zināšanu apjoma samazinājumu mācību procesa īstenošanas laikā. MPS izglītojamā zināšanu vērtēšanai tiek izmantota formatīvā vērtēšana, kas nosaka zināšanu līmeni katrā apskatītajā kompetencē tās apgūšanas laikā. Mācību programmas apgūšanas beigās izglītojamam atšķirsies zināšanu līmenis mācību programmā iekļautajās kompetencēs. Līdzsvarot izglītojamā zināšanu līmeņus kompetencēs ir nepieciešams, lai mācību programmas noslēgumā visās kompetencēs būtu sasniegtas izvirzītās prasības. Promocijas darbā ir izstrādāts adaptīvs mācību plāna ģenerēšanas algoritms un tā integrācija mācību pārvaldības sistēmas ietvaros, kas ļauj adaptēt mācību saturu katra izglītojamā zināšanu līmenim un mācīšanās spējām, līdzsvarojot iegūtās zināšanas katrā laika vienībā, dinamiski mainot mācību plāna topoloģiju.

Promocijas darba hipotēzes

Promocijas darbā ir izvirzītas divas hipotēzes.

- Kompetenču iekļaušanas secība mācību plānā ietekmē izglītojamā sasniedzamo rezultātu noslēgumā pārbaudēs.
- Izglītojamā zināšanu līmenī balstīta adaptīva mācību plāna ģenerēšanas metožu izmantošana ļauj līdzsvarot zināšanu līmeni starp visām mācību kursā iekļautām kompetencēm.

Promocijas darba mērķis

Izpētīt un izstrādāt mācību plāna ģenerēšanas modeļus un metodes, kas ļauj līdzsvarot izglītojamā zināšanu līmeni mācību kursa noslēgumā un palielināt mācību plāna dzīves ilgumu.

Promocijas darba uzdevumi

- Analizēt adaptīvā mācību procesa īstenošanas modeļus un metodes.
- Izstrādāt izglītojamā zināšanu līmeņa noteikšanas modeļus.
- Noteikt mācību moduļa faktorus, kas nosaka mācību satura pasniegšanas

ierobežojumus, un prasības to iekļaušanai mācību plānā.

- Izstrādāt mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modeli.
- Izstrādāt mācību plāna ģenerēšanas algoritmus, kas ļauj līdzsvarot izglītojamā zināšanu līmeni katrai mācību kursā apskatāmajai kompetencei.
- Veikt izstrādātā modeļa eksperimentālu aprobāciju reālā mācību pārvaldības sistēmā.

Pētījuma objekts un priekšmets

Promocijas darba **pētījuma objekts** ir mācību pārvaldības sistēma.

Promocijas darba **pētījuma priekšmets** ir mācību pārvaldības sistēmas mācību plāna ģenerēšanas metodes un algoritmi.

Pētījuma metodes

Promocijas darba izstrādes gaitā izmantotas vispārpieņemtas pētījumu metodes. Promocijas darba teorētiskajā daļā izmantotas šādas teorētiskās metodes:

- ar tēmas aktualitāti saistīto zinātniskās literatūras, speciālās literatūras, normatīvo aktu izpēte;
- tehniskās dokumentācijas izpēte un analīze;
- eksistējošo risinājumu analīze, novērtēšana un salīdzināšana.

Praktiskās daļas izstrādei izmantotas šādas empīriskās metodes:

- datu ieguves metodes:
 - datizraces metodes tehnisko datu iegūšanai;
 - aptaujas metodes;
- datu apstrādes un analīzes metodes:
 - aprakstošā statistika (vidējais aritmētiskais, standartnovirze, mediāna, minimālā un maksimālā vērtība);
 - secinošā statistika (Kolmogorova–Smirnova un Šapiro–Vilka normālsadalījuma tests, Manna–Vitnija U tests un T tests divu neatkarīgu izlašu vidējo salīdzināšanai).

Darba zinātniskais jaunieguvums

Izstrādātajam promocijas darbam ir vairāki zinātniskie jaunieguvumi.

- Izveidots adaptīvo mācību pārvaldības sistēmu izmantoto mācību stratēģiju un ar tām saistīto terminu apkopojums, atspoguļojot to saistību un nozīmi mācību procesā.
- Izveidots apkopojums par adaptīvo mācību pārvaldības sistēmu komponentu īstenotajām funkcijām un komponentu savstarpējo mijiedarbību.
- Piedāvāta eksistējošo mācību pārvaldības sistēmu salīdzinoša analīze, identificējot būtiskākos šāda veida sistēmu trūkumus mācību procesa pielāgošanā.
- Izstrādāts mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modelis, kas ļauj noteikt laiku, kad ir nepieciešams veikt mācību plāna pārkonfigurēšanu.
- Izstrādāta mācību plāna ģenerēšanas metode, kas līdzsvaro izglītojamā zināšanu līmeni katrai mācību kursā apskatāmajai kompetencei.
- Izstrādāta adaptīva mācību plāna pārkonfigurēšanas metode, kas nodrošina mācību satura adaptīvu vadību, ņemot vērā izglītojamā zināšanu līmeni.

Darba praktiskā nozīmība

Darba praktisko vērtību veido mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modelis un mācību plāna pārkonfigurēšanas metožu eksperimentālā aprobācija. Promocijas darbam ir šāda praktiskā nozīmība:

- izstrādāts eksperimentāls mācību satura pārvaldības prototips, kas nodrošina mācību plāna dzīves ilguma novērtējumu mācību procesa īstenošanas laikā;
- eksperimentāli pārbaudīts adaptīva mācību plāna novērtēšanas modelis esošajās mācību platformās (*dpc.lv*, *macam.lv*, *digima.lv*, *das.lv*), kas nodrošina adaptīva mācību procesa īstenošanu noteiktām mērķauditorijas grupām;
- mācību plāna dzīves ilguma novērtējuma algoritms integrēts *Moodle* sistēmā mācību plāna koriģēšanai Ceļu satiksmes drošības direkcijas (CSDD) pārraudzīto kursu īstenošanai;
- pirmsskolas izglītības iestāžu mācību programmas adaptācijas prototipa izstrādei lietots Norvēģijas finanšu instruments *Norway Grants*.

Promocijas darba praktiskos rezultātus var izmantot izglītības iestādes, kas vēlas automatizēt mācību satura pasniegšanu autonomā režīmā, kas ļauj palielināt izglītojamo sasniedzamo zināšanu līmeni un samazināt administrēšanas izmaksas sistēmās ar lielu lietotāju skaitu.

Izstrādātais mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modelis un pārkonfigurēšanas metodes ir aprobētas praksē.

- Mācību moduļos sadalīta mācību satura vadībai *macam.lv* platformā, kas nodrošina centralizētu regulatora uzraudzītu autovadītāju teorētiskā “B” un “C” kategoriju adaptīva kursa pasniegšanu bez laika ierobežojuma.
- Mācību moduļos sadalīta mācību satura vadībai *das.lv* mācību platformā, kas nodrošina adaptīvu profilējošo mācību kursu pasniegšanu atbilstoši izglītojamā zināšanu līmenim, lai sasniegtu efektīvāko rezultātu ierobežotā kursa apguves laikā.
- Izglītojamā modeļa izstrādei un sākotnējā mācību plāna ģenerēšanai *dpc.lv* mācību platformā, kas nodrošina mācību trajektorijas izstrādi ar mērķi palielināt iegūto zināšanu apjomu katrā apskatāmajā kompetencē, balstoties izglītojamā modeļa parametros.

Darbu rezultātu aprobācija

Par promocijas darba rezultātiem ziņots starptautiskajās konferencēs.

- Rīgas Tehniskās universitātes 58. starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, 12.–15. oktobris, 2017. g.
- 17th International Conference Perspectives in Business Informatics Research (BIR 2018), Stokholma, Zviedrija, 24.–26. septembris, 2018.
- 10th International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN18), Spānija, 2.–4. jūlijs, 2018.
- 10th International Conference on Studies in Education, Business, Economics and Interdisciplinary Studies (EBEIS-18), Kuala Lumpur, Malaizija, 23.–25. jūlijs, 2018.

Promocijas darba rezultāti ir atspoguļoti piecās publikācijās.

1. Jurenoks, A., Jurenoka, S., Novickis, L. Online Fault Detection Methodology of Question Moodle Database Using Scan Statistics Method. No: Information and Software Technologies: 23rd International Conference, ICIST 2017: Proceedings. Communications in Computer and Information Science. Vol. 756, Lithuania, Druskininkai, October 12–14, 2017. Cham: Springer, 2017, pp. 478–486 (indeksēts SCOPUS; autores ieguldījums 40 %).
2. Kataļņikova, S., Grundspenķis, J., Jurenoka, S. Intelligent Collaborative Educational System within the Framework of Competence Approach. No: Joint Proceedings of the BIR 2018 Short Papers, Workshops and Doctoral Consortium co-located with 17th International Conference Perspectives in Business Informatics Research (BIR 2018). CEUR Workshop Proceedings. Vol. 2218, Sweden, Stockholm, September 24–26, 2018. Cham: Springer, pp. 348–355 (indeksēts SCOPUS; autores ieguldījums 35 %).
3. Jurenoka, S., Jurenoks, A. A Method for Learning Scenario Selection and Modification in Intelligent Tutoring Systems. No: BIR-WS 2018 [online] : BIR Short Papers, Workshops and Doctoral Consortium : Joint Proceedings of the BIR 2018 Short Papers, Workshops and Doctoral Consortium co-located with 17th International Conference “Perspectives in Business Informatics Research” (BIR 2018). CEUR Workshop Proceedings. Vol.2218, Sweden, Stockholm, September 24–26, 2018. Cham: Springer, pp. 335–340 (indeksēts SCOPUS; autores ieguldījums 60 %).
4. Jurenoka, S., Bobrovskis, S., Jurenoks, A. Using Fuzzy Logic for Behavior Scenario Selection in Moodle Systems. No: EDULEARN18 Proceedings: 10th International Conference on Education and New Learning Technologies, Spain, Palma, 2.–4. jūlijs, 2018. Valencia: IATED Academy, 2018, pp. 4837–4842 (indeksēts SCOPUS; autores ieguldījums 70 %).
5. Jurenoka S., Grundspenķis J., Development of Methods and Models for Generating an Adaptive Learning Plan Based on the User's Level of Knowledge, Baltic Journal of Modern Computing, Vol. 11 (2023), No. 1, 90–113 (indeksēts SCOPUS; autores ieguldījums 90 %).

Darba struktūra

Promocijas darbā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 43 attēli un 14 tabulu, kopā – 133 lappuses. Literatūras sarakstā ir 193 avoti.

Ievadā ir pamatota pētījuma aktualitāte, formulēts promocijas darba mērķis un uzdevumi, aprakstīti pētījuma zinātniskie jaunieguvumi un sasniegto rezultātu praktiskā nozīme.

Pirmajā nodaļā “Adaptīvas mācību pārvaldības sistēmas” aprakstīta mācību pārvaldības sistēmu aktuālā situācija un esošie datorizētu mācību praktiskā lietojuma piemēri. Apskatīti esošie adaptīvu mācību pārvaldības sistēmu (AMPS) modeļi un standarti, to lietojuma veidi un tehniskās specififikācijas, izceļot faktorus, kas ietekmē AMPS plāna ģenerēšanas un mācību rezultāta sasniegšanas kvalitāti.

Nodaļā tiek dots vispārīgs AMPS mācību plāna dzīves ilguma apraksts, kas ietver trīs pamatmodeļus: modeli satura reprezentācijai, izglītojamo modeli un adaptācijas modeli.

Otrajā nodaļā “Adaptīva mācību plāna novērtēšanas modeļa izstrāde” ir izstrādāts mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modelis, kas nosaka mācību plāna atbilstību izglītojamā zināšanu līmenim ar mērķi līdzsvarot kompetenču zināšanu līmeņus mācību kursa apguves laikā.

Nodaļā aprakstīti komponenti, izstrādātie modeļi un algoritmi, kas nosaka izglītojamā zināšanu līmeni katrā kompetencē mācību procesa īstenošanas laikā. Tie ir šādi:

- izglītojamā zināšanu līmeņa novērtēšana;
- zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšana;
- izglītojamā digitālo kompetenču novērtēšana.

Nodaļā apskatīts mācību plāna izstrādes process, kas nosaka mācību komponentu kārtības prasības un ierobežojumus kursa programmas apguves laikā.

Lai pielāgotu mācību vielas pasniegšanas kvalitāti, nodaļā definēti ārējie faktori un to ietekme uz mācību procesa īstenošanu, izmantojot izglītojamā tehniskā nodrošinājuma validāciju mācību procesa īstenošanai katrā pieslēgšanās sesijā.

Nodaļā definēti mācību plāna dzīves ilgumu ietekmējošie faktori, kas nosaka mācību plāna ģenerēšanas posmu, ņemot vērā izglītojamā esošo zināšanu līmeni un mācību saturu elementus.

Nodaļas noslēgumā aprakstīts mācību plāna ģenerēšanas uzdevums, kas nosaka mācību plāna veidošanas scenāriju, kas līdzsvaro katrā kompetencē apgūto zināšanu apjomu mācību kursa apguves laikā.

Trešajā nodaļā “Adaptīva mācību plāna pārkonfigurēšanas metodes izstrāde” aprakstītas adaptīvā mācību plāna pārkonfigurēšanas metodes, kas, izmantojot mācību plāna novērtēšanas modeli, nodrošina plāna ģenerēšanu ar uzdevumu samazināt zināšanu līmeņu atšķirības apgūtajās mācību kompetencēs.

Izmantojot mācību plāna ģenerēšanas metodi, nodaļā piedāvāta algoritmu kopa, kas nodrošina katra mācību plāna elementa pārbaudi jauna mācību plāna ģenerēšanai noteikto kompetenču apgūšanai. Aprakstīti algoritmi, kas nodrošina moduļu apguves secības plāna izstrādi.

Gadījumos, kad ir ierobežota mācību procesa atgriezeniskās saites iegūšana reālā laikā, ir aprakstīta ģenētiskā algoritma izmantošanas metodoloģija mācību moduļu iekļaušanai mācību plānā.

Nodaļas noslēgumā definēts mācību plāna topoloģijas maiņas nepieciešamības pamatojums, kas kontrolē plāna dzīves ilgumu mācību procesa īstenošanas laikā.

Ceturtnajā nodaļā “Izstrādāto metožu un modeļu eksperimentāla pārbaude” veltīta izstrādāto modeļu un metožu eksperimentālai aprobācijai ar mērķi izpētīt:

- izstrādātā adaptīva mācību plāna novērtēšanas modeļa izmantošanas rezultātus mācību plāna īstenošanas laikā;
- piedāvātās mācību plāna pārkonfigurēšanas metožu izmantošanu izglītojamā zināšanu līmeņa līdzsvarošanai mācību procesa īstenošanas laikā.

Nodaļā aprakstīti trīs eksperimenti, kas ir izpildīti, izmantojot pētījumu laikā izstrādāto adaptīvu mācību pārvaldības moduli, kas nodrošina *Moodle* mācību pārvaldības sistēmas vadību.

1. ADAPTĪVAS MĀCĪBU PĀRVALDĪBAS SISTĒMAS ESOŠĀS SITUĀCIJAS ANALĪZE

Nodaļā veiktā literatūras analīze parādīja, ka adaptīva mācību pārvaldības sistēma ir perspektīva tehnoloģija, ko plaši izmanto attālinātā mācību procesa īstenošanai, veidojot individuālo mācīšanās plānu izglītojamam, ņemot vērā viņa pašreizējās zināšanas, spējas, motivāciju un citas īpašības.

Nodaļā sniegti ar adaptīvu mācību pārvaldības sistēmu (AMPS) saistītu jēdzienu skaidrojumi, AMPS pašreizējās situācijas apkopojums, apskatīta to arhitektūra, aprakstīti esošie datorizētu mācību praktisko lietojumu piemēri. Pamatojoties uz (*Deborah* u. c., 2021), AMPS nodrošina katrai lietotāju grupai vai lietotājam pielāgotu mācību procesa vadību, izmantojot automātiskā režīmā definētu mācību saturu.

Literatūras apskats parādīja, ka mācību pārvaldības sistēmās plāna veidošana balstās trīs pamatprincipos.

- Par satura kopu tiek uzskatīts modulis.
- AMPS nodrošina moduļu savstarpējo mijiedarbību, kur savienojums tiek nodrošināts, izmantojot moduļu klasifikāciju un metadatu kopas.
- Moduļa struktūru veido mācību plāna elementi, kas nodrošina informācijas pasniegšanas secību, piemēram, teorētiskā informācija, mediju dati, zināšanu pārbaudes testi. Katra aktivitāte tiek uzskaitīta kā atsevišķa vienība, kas ietver metadatu kopu, kas ir nepieciešama algoritmu izmantošanai, lai veidotu plānu mācību procesa laikā.

Nodaļā detalizēti apskatīti esošie AMPS modeļi un standarti, to lietojuma veidi un tehniskās specifikācijas, izcelti faktori, kas ietekmē AMPS mācību plāna ģenerēšanas un mācību rezultāta sasniegšanas kvalitāti. Veicot adaptācijas modeļa apskatu, tika secināts, ka esošās AMPS mācību plāna veidošanai izmanto dažādas plāna adaptācijas metodes. Mūsdienu AMPS plaši tiek izmantots modelis, kas nodrošina nākamā mācību moduļa izvēli, pamatojoties uz izglītojamā iepriekš veiktajām darbībām mācību procesa laikā.

Pamatojoties uz (*Sridharan* u. c., 2021) sniegto informāciju, ka mācību plāna ģenerēšana ir atkarīga no informācijas daudzuma, ko sistēma nodrošina izglītojamā modeļa zināšanu bāzes ģenerēšanai, nodaļā apskatītas izglītojamā modeļa veidošanas metodes. Analizējot lietotāja ietekmi uz AMPS darbību, identificēta nepieciešamība noteikt izglītojamā parametrus nākamā mācību moduļa izvēlei.

Detalizēti apskatītas mācību plāna ģenerēšanas un mācību procesa realizācijas vadlīnijas, balstoties satura reprezentācijas modeļos. Apskatīta izglītojama modeļa zināšanu bāzes ietekme uz mācību satura reprezentācijas modeļiem un mācību plāna ģenerēšanas metodēm.

Mācību pārvaldības sistēmu salīdzinošas analīzes veikšanai promocijas darbā ir definēti 25 kritēriji, kas ļauj novērtēt AMPS atbilstību uz izglītojamo centrēta mācību procesa īstenošanai.

Veicot esošo AMPS analīzi, tika secināts:

- komerciālie produkti ir paredzēti noteiktu uzdevumu izpildei un neatbalsta plāna pielāgošanu;

- programmatūrās ir ierobežota iespēja atkārtoti izmantot vienu moduli dažādosursos;
- programmatūras ietvaros nepastāv mācību moduļu pārvaldības sistēmas;
- izglītojamā zināšanu pārbaudes process nav automatizēts, mācību programmas autoram ir nepieciešams manuāli definēt scenārijus zināšanu pārbaudei;
- zināšanu validācijas moduļi neietekmē mācību plāna struktūru un mācību vielas pasniegšanas secību, kas neļauj pielāgot mācību plānu lietotāja vajadzībām;
- izglītības programmas mācību plāns tiek definēts kā konstanta struktūra un netiek pielāgots izglītojamam.

Esošo atvērtā koda AMPS un to moduļu apskats parādīja, ka nav universālu risinājumu, kas nodrošinātu uz izglītojamā zināšanu līmeņa balstītu adaptīvu mācību procesu automātiskā režīmā. Esošās sistēmas tiek iedalītas divās daļās.

- Mācību kursa statistiskā reprezentācija pēc iepriekš definēta scenārija, kas izmanto satura kopas modeli mācību kursa attēlošanai. Sistēmās ir ierobežota aktivitāšu izmantošana, un satura attēlošana tiek nodrošināta, izmantojot *HTML* standartus. Atgriezeniskā saite tiek nodrošināta, izmantojot zināšanu pārbaudes testus, kas ir kā indikators sasniegtā mācību līmeņa pārraudzībai. Sistēmās ir ierobežotas publicētā kursa plāna modifikācijas iespējas, kā arī ierobežotas aktuālās informācijas pievienošanas un kursa programmas labošanas iespējas. Šī tipa sistēmas tiek izmantotas neformālajā izglītībā noteikta teorētiskā kursa pasniegšanai.
- Mācību aktivitāšu datu krātuve, kas nodrošina mācību procesa īstenošanu, balstoties freima satura modeļa struktūrā. Mācību aktivitātes tiek uzglabātas kursa vietnē. Kurša administrators nosaka aktivitāšu attēlošanas nosacījumus, kas ļauj pielāgot kursa plānu katrai lietotāju grupai. Kurša ietvaros administrators var pilnveidot un mainīt moduļus, veicot izmaiņas tikai konkrētā modulī, kas neietekmē visa kursa plānu un tā apguves secību.

Darbā ir secināts, ka pašlaik nav gatavu risinājumu, kas var nodrošināt mācību plāna pielāgošanu katram izglītojamam. Saskaņā ar projektu “Skola2030” nav iespējams izveidot vienu mācību materiālu, kas varētu būt pielāgots izglītojamiem ar dažādām zināšanu apguves spējām (*Skola2030*, 2022a; *Skola2030*, 2021).

Nodaļas galvenie secinājumi

- Nepieciešams vispārīgs modelis, kas ļauj novērtēt izglītojamā zināšanu līmeni mācību procesa īstenošanas laikā.
- Detalizēti jāapskata katra datorizētā mācību procesa elementa ietekmi uz izglītojamā zināšanu līmeni, lai novērtētu mācību programmas ietvaros iegūto zināšanu līmeni.
- Nepieciešams izstrādāt adaptīva mācību plāna ģenerēšanas metodes.

Secinājumi ļauj formulēt uzdevumus, kas ir risināti promocijas darbā un aprakstīti turpmākajās nodaļās.

2. ADAPTĪVA MĀCĪBU PLĀNA NOVĒRTĒŠANAS MODEĻA IZSTRĀDE

Otrajā nodaļā aprakstīts izstrādātais mācību plāna novērtēšanas modelis, kas nodrošina tā dzīves ilguma novērtēšanu, izmantojot mācību procesa īstenošanas laikā iegūtos datus. Mācību plāna dzīves ilgums ir laiks, ko izglītojamais izmantos mācību vielas apgūšanai no sākuma līdz pozīcijai plānā, kad ir nepieciešams veikt izmaiņas plānā paredzēto rezultātu sasniegšanai. Mācību plāna dzīves ilgums ir atkarīgs no apgūta informācijas apjoma un izglītojamā zināšanu līmeņa noteiktajā posmā.

AMPS uzdevums ir mācību plāna izveidošana, pamatojoties uz izglītojamā spējām apgūt mācību kursu, pēc iespējas sasniedzot maksimālu zināšanu līmeni kompetencēs. Nodaļā aprakstīti faktori, kas ietekmē mācību plāna dzīves ilgumu.

Izstrādāts zināšanu līmeņa noteikšanas modelis, ar kuru var aprēķināt izglītojamā zināšanu līmeņa pieaugumu mācību procesa īstenošanas laikā. Izglītojamā zināšanu līmeņa noteikšana ietver trīs modeļu lietošanu:

- zināšanu līmenī balstīta kompetenču noteikšanas modelis;
- kompetencēs balstīta zināšanu līmeņa noteikšanas modelis;
- zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modelis.

Aprakstīts, ka mācību programmas apgūšanas laikā zināšanu līmenis laika gaitā samazinās, jo izglītojamais pēc mācību vielas apgūšanas daļu no apgūtā aizmirst. Aprakstīts zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modelis, kas nosaka mācību vielas atkārtosšanu, ņemot vērā izglītojamā zināšanu līmeni katrā mācību procesā iekļautajā kompetencē. Modeļu pamatā ir izmantots Ebingauza zināšanu aizmiršanas apjoma koeficienta noteikšanas modelis (*Lange*, 1983), kas ir pilnveidots ar zināšanu pārbaudi mācību procesa īstenošanas laikā.

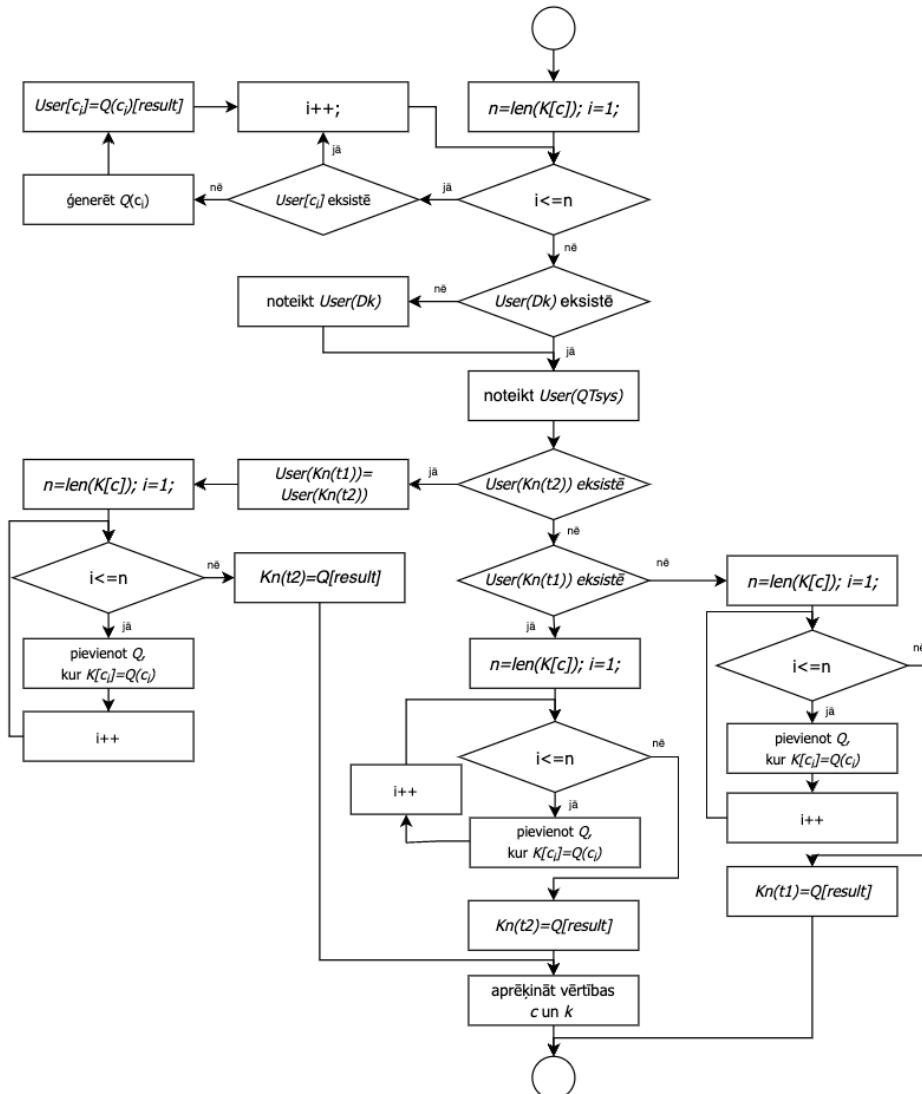
Izstrādāts mācību plāna novērtēšanas modelis, kas iekļauj vairākus komponentus un algoritmus apskatīto kompetenču zināšanu līmeņa novērtēšanai mācību procesa īstenošanas laikā:

- izglītojamā zināšanu līmeņa novērtēšanu;
- zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanu;
- izglītojamā digitālo kompetenču novērtēšanu.

Nodaļā definēti ārējie faktori un to ietekme uz mācību procesa īstenošanu, kas izmanto izglītojamā tehniskā nodrošinājuma validāciju mācību procesa īstenošanai katrā pieslēgšanās sesijā: izglītojamā zināšanu līmenis katrā kompetencē, digitālās kompetences zināšanu līmenis, tehniskā nodrošinājuma ietekmes parametrs.

Mācību plāna dzīves ilgumu ietekmējošo parametru noteikšanai promocijas darbā ir izstrādāts algoritms (2.1. att.). Algoritms apraksta izglītojamā sākotnējo katras mācību programmā iekļautās kompetences zināšanu līmeņa noteikšanu, izmantojot zināšanu līmenī balstītu kompetenču noteikšanas un kompetencēs balstītu zināšanu līmeņa noteikšanas modeļi. AMPS iegūst izglītojamā zināšanu līmeni katrā kursā iekļautajā kompetencē *User[c]*, izmantojot sistēmā esošo informāciju par izglītojamo vai veicot zināšanu pārbaudes testus, gadījumā, ja AMPS nav izglītojamā noteiktas kompetences zināšanu līmenis. Turpinājumā tiek

noteikts izglītojamā digitālās kompetences zināšanu līmenis $User(Dk)$ un tehniskā nodrošinājuma ietekmes $User(QTsys)$ parametrs, izmantojot promocijas darbā izstrādāto tehniskā nodrošinājuma ietekmes un izglītojamā digitālo kompetenču noteikšanas metodi. Izglītojamā digitālās kompetences zināšanu līmenis $User(Dk)$ tiek noteikts sākotnējā algoritma aktivizēšanā, tehniskā nodrošinājuma ietekmes parametra vērtība $User(QTsys)$ tiek noteikta katrā algoritma aktivizācijas reizē.



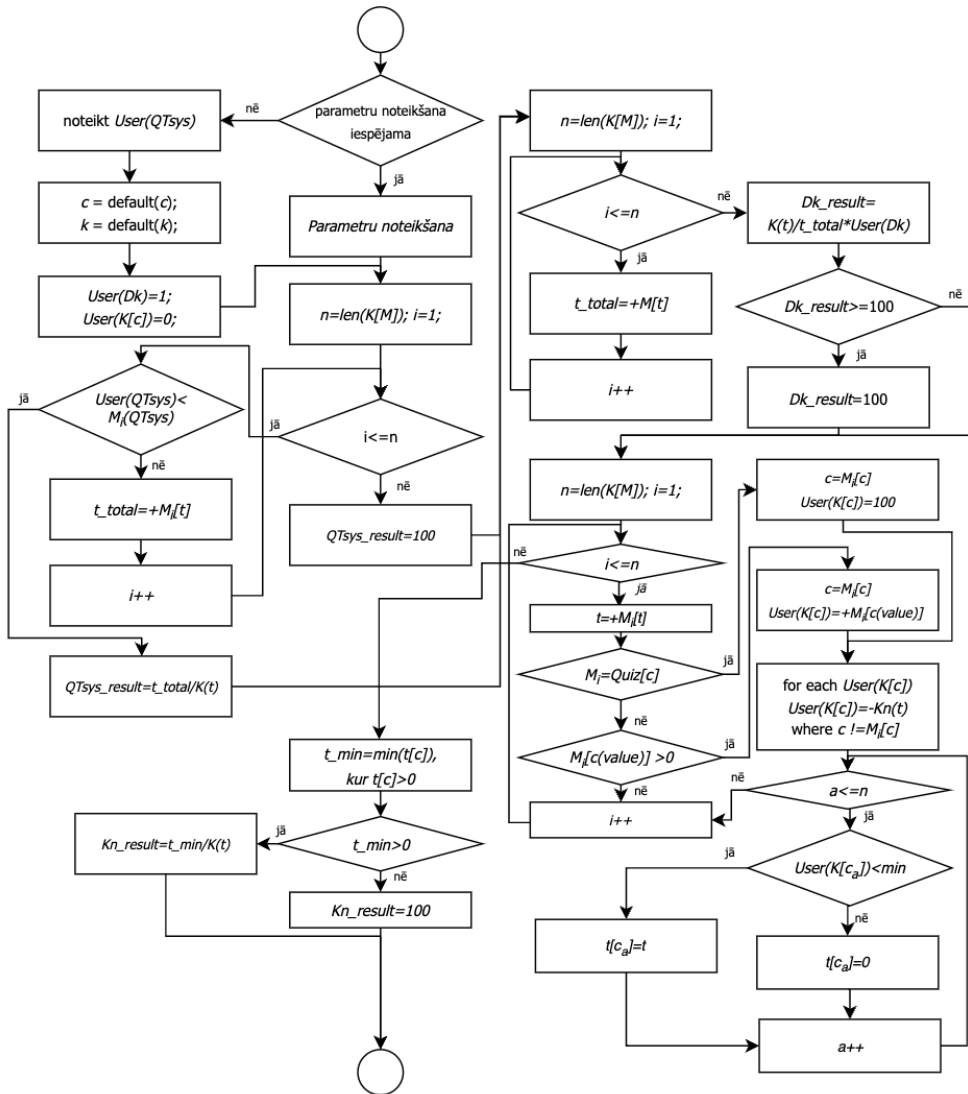
2.1. att. Mācību plāna dzīves ilgumu ietekmējošo parametru noteikšanas algoritms.

Zināšanu aizmiršanas apjoma koeficienta Kn noteikšanai algoritmā tiek lietots zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modelis, kas izmanto divas zināšanu pārbaudes, nosakot $Kn(t)$

vērtības. Sākotnējā aktivizācijas reizē tiek noteikts tikai $Kn(t_1)$, veicot zināšanu pārbaudi, $Kn(t_2)$ netiek identificēts, jo ir nepieciešams intervāls starp zināšanu pārbaudēm. Aktivizējot algoritmu atkārtoti, sistēma nosaka $Kn(t_2)$ vērtību, izmantojot divas pieejas:

- 1) ja $Kn(t_2)$ vērtība nebija noteikta iepriekš, tad tiek ģenerēta jauna zināšanu pārbaude $Kn(t_2)$ noteikšanai, bet $Kn(t_1)$ vērtība netiek mainīta;
- 2) ja $Kn(t_2)$ vērtība jau ir iegūta, tad sistēma maina $Kn(t_1)$, izpildot darbību $User(Kn(t_1)) \leftarrow User(Kn(t_2))$, un $Kn(t_2)$ aprēķinam sistēma ģenerē jaunu zināšanu pārbaudi.

Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanai promocijas darbā tiek piedāvāts algoritms, kas redzams 2.2. attēlā.



2.2. att. Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas algoritms.

Algoritma sākumā tiek pārbaudīts, vai ir iespējams noteikt mācību plāna dzīves ilgumu ietekmējošos parametrus: izglītojamā zināšanu līmeni katrā kursā iekļautajā kompetencē, digitālās kompetences zināšanu līmeni, tehniskā nodrošinājuma ietekmes parametru un zināšanu aizmiršanas koeficientu. Tiek pieņemts, ka mācību plāna dzīves ilgums ir atkarīgs no mācību vielas pasniegšanas secības un izglītojamā spējām apgūt informāciju, izmantojot attālinātu apmācības formu. Lietojot mācību plāna dzīves ilguma noteikšanas algoritmu, tiek vērtēta esošā plāna izpilde, nosakot izglītojamā zināšanas līmeni iekļautajās kompetencēs mācību programmas noslēgumā un pozīciju mācību plānā, kad ir jāveic izmaiņas paredzēto rezultātu sasniegšanai.

Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas algoritma darbības rezultāts ietver trīs vērtības.

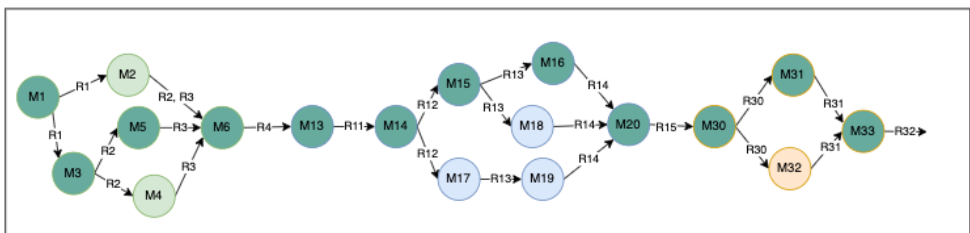
- Mācību plāna dzīves ilgums ir atkarīgs no izglītojamā tehniskā nodrošinājuma (*QTsys_result*).
- Izglītojamā informācijas apgūšanas ātrums un spējas izmantot digitālās kompetences (*DK_result*) ietekmē mācību plāna dzīves ilgumu.
- Mācību plāna dzīves ilgums ir atkarīgs no mācību procesā sasniegtā rezultāta (*Kn_result*).

Adaptīva mācību plāna ģenerēšanas uzdevums ir moduļu secības izveidošana mācību satura apgūšanai, kas ļauj palielināt katras mācību procesā iekļautās kompetences zināšanu līmeni mācību kursa noslēguma pārbaudēs. Izglītojamais, apgūstot mācību kursu, pilnveido savas kompetences, kas ir definētas kursā un piesaistītas moduļiem, kur iegūto zināšanu līmenis tiek noteikts, izmantojot pārbaudes moduļus.

Apgūstot mācību moduli, izglītojamais var pilnveidot vienu vai vairākas kompetences, tādēļ var pieņemt, ka katrs mācību modulis nodrošina zināšanas vismaz vienas kompetences pilnveidošanai.

AMPS mācību plāns tiek ģenerēts mācību procesa īstenošanas laikā. Moduļu skaits, kas izglītojamam ir jāapgūst, var mainīties, vadoties no izglītojamā zināšanu līmeņa un spējām apgūt jaunu informāciju. Moduļu izvēles secību reprezentē svērts grafs (2.3. att.). Promocijas darbā mācību plāns *MP* ietver moduļu kopas apgūšanas secību $MP\{M_i\}$, kur $i=1,2..n$.

Mācību procesa īstenošanas laiks ir ierobežots ar katram mācību kursam paredzēto apguves laiku t . Apgūstot mācību moduli, izglītojamais iegūst kompetenci, kas tiek mērīta skalā no 0 % līdz 100 %. Apgūstot mācību kursu, ievērojot zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modeli, kursa noslēguma pārbaudē izglītojamais ir sasniedzis kopējo kompetenču zināšanu līmeni, kas ietver katras kompetences zināšanas līmeņa rezultātus. Mācību plāna algoritms ģenerē tādu ceļu grafā (2.3. att.), lai kursa noslēgumā sasniegtais i -tas kompetences zināšanu līmenis $K[c_i]$ noteiktajā laika periodā t būtu visaugstākais $K[c_i](P, t) \rightarrow max$, kur P – mācību moduļu apgūšanas secība (ceļš grafā).

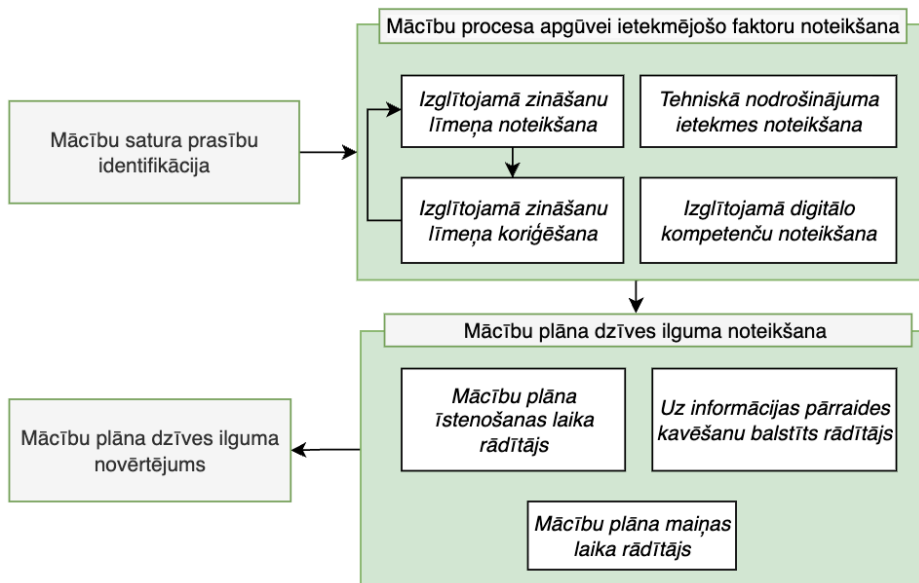


2.3. att. Mācību plāns kursa apgūvei.

Ir definētas prasības mācību plāna ģenerēšanas algoritmam.

1. Ģenerēt mācību plānu, iekļaujot tajā kompetences ar ievadvērtībām, kas nosaka prasības kompetenču apgūšanai un to pasniegšanas secību. Mācību plāna ģenerēšanas algoritmam ir jānodrošina kompetenču apgūšanas secības noteikšana ar mērķi samazināt katrā kompetencē apgūtā zināšanu apjoma aizmiršanas procentu mācību programmas apgūves noslēgumā.
2. Attālinātā mācību procesa īstenošanas laiks ir atkarīgs no katra izglītojamā mācību spējām. Ņemot vērā mācību laiku, kas ir patērēts kursa apgūvei, ir jānosaka izglītojamā zināšanu apjoms katrai kompetencei mācību procesa īstenošanas laikā.

Mācību plāna ģenerēšanai ir izstrādāts modelis, kas nosaka tā izstrādes scenāriju, izmantojot izglītojamā zināšanu līmeņa un mācību plāna struktūras novērtējumu, mācību procesa īstenošanas laiku, kā arī mācību procesu ietekmējošos faktorus (2.4. att.).



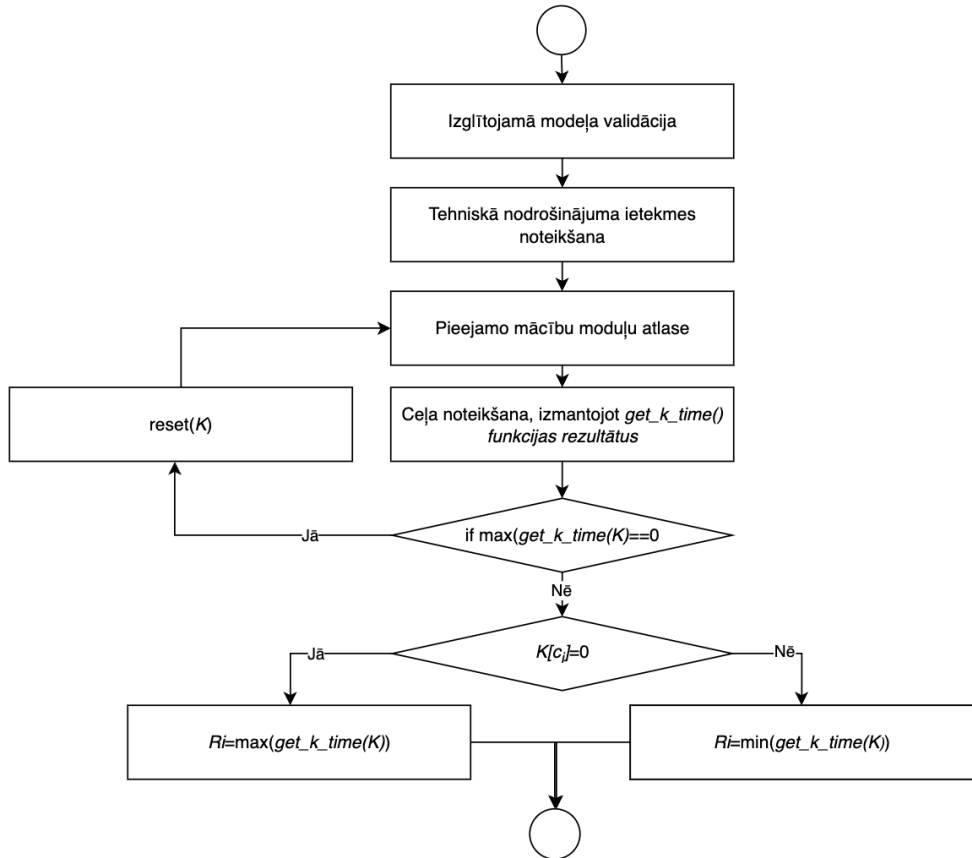
2.4. att. Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modeļa 2. nodaļā aprakstīto modeļu, metožu un komponentu saistību diagramma.

Modeļa izmantošana notiek divos posmos.

1. Izglītojamā modeļa uzbūvei ir definēti parametri, kas nosaka atbilstoša moduļa izvēli noteiktajā mācību plāna apgūšanas laikā. Pamatojoties uz faktoru klasifikāciju citos darbos (*Aseere* u. c., 2011; *Jaukovic* u. c., 2020), promocijas darbā ir apskatīti faktori, kas ietekmē mācību procesa apgūšanu, izmantojot attālinātās mācības sistēmas funkcionalitāti.
2. Nosakot zināšanu līmeni, nodaļā ir piedāvāts modelis izglītojamā stāvokļa noteikšanai mācību plāna apguves laikā. Ja mācību laiks pārsniedz modulim atvēlēto laiku un laiku, kad izglītojamā zināšanu līmenis atrodas zem mācību kursā definētajām minimālajām prasībām, tiek inicializēts plāna pārgenerēšanas algoritms.

Izmantojot šajā nodaļā aprakstītos modeļus, trešajā nodaļā ir izstrādāta adaptīva mācību plāna pārkonfigurēšanas metode, kas vada mācību plāna izstrādes procesu, līdzsvarojot iegūtās zināšanas.

ierobežojumu. Mācību moduļu kārtošanas algoritms vienas kompetences ietvaros redzams 3.2. attēlā.



3.2. att. Mācību moduļu kārtošanas algoritms vienas kompetences ietvaros.

Moduļu atlases rezultātā to skaits katras kompetences zināšanu apgūšanai var būt atšķirīgs, bet nevar būt mazāks par 1 un lielāks par visu moduļu skaitu kompetences apgūšanai. Promocijas darbā tiek uzskatīts, ka, apgūstot mācību kompetenci pirmo reizi, ir jāizvēlas lielākais laiks kompetences zināšanu padziļinātai apguvei. Savukārt, ja kompetence tiek apgūta atkārtoti, tiek izvēlēts mazākais iespējamais laiks.

Kompetenču kārtošanas algoritms

Mācību kompetenču kārtošanas algoritma mērķis ir līdzsvarot iegūtos zināšanu līmeņus starp visām apskatītajām kompetencēm. Izmantojot zināšanu līmeņa noteikšanas modeli, tiek ieviests masīvs MP , kas apraksta moduļus, ko izglītojamais apgūst mācību procesa laikā. Tiek pieņemts, ka katra kompetence ir apgūta tad, kad ir izpildīti visi mācību plānā iekļautie moduļi kompetences apguvei, kas ir atlasīti, izmantojot mācību moduļu kārtošanas algoritmu. Tiek definēts masīvs $MP[k,m]$, kur k ir pieejamais kompetenču skaits un m – maksimālais vienas

kompetences moduļu skaits. Mācību programmā var būt iekļautas kompetences, kuru zināšanu apgūšana ir atkarīga no kādas iepriekš apgūtas kompetences. Kompetences var iedalīt trīs pamatkategorijās: bāzes kompetences, izvēles kompetences un papildu kompetences. Tādējādi mācību programma MP sastāv no trīs kopām:

$$MP_i = \{K_{main_1}, K_{main_2}, \dots, K_{main_n}\} \cup \{K_{add_1}, K_{add_2}, \dots, K_{add_m}\} \cup \{K_{opt_1}, K_{opt_2}, \dots, K_{opt_z}\} = \overline{1, n},$$

kur K_{main} – mācību programmā iekļautā bāzes kompetence; K_{add} – mācību programmā iekļautā izvēles kompetence; K_{opt} – mācību programmā iekļautā papildu kompetence.

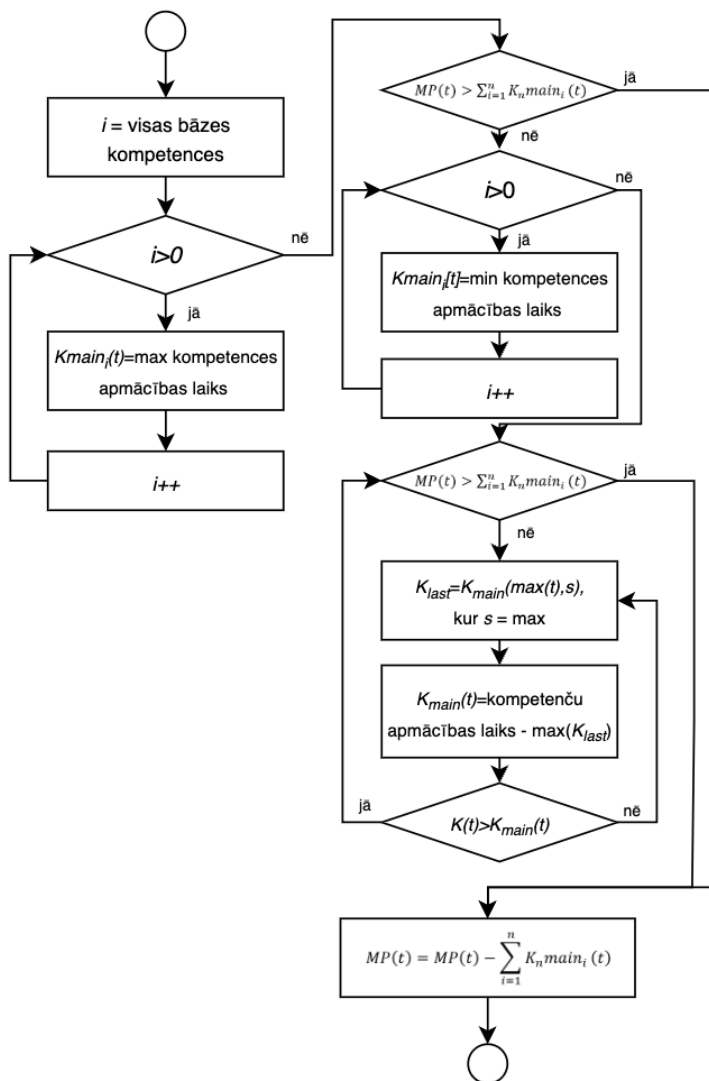
Bāzes kompetence ir kompetence, kuru iekļaušana mācību plānā un to apgūšana ir obligāta. Bāzes kompetencei var būt un var nebūt ieejas prasības to apgūšanai. Izglītojama var izvēlēties izvēles kompetenci, bet tas iekļaušana mācību plānā nosaka atlikušais mācību procesa īstenošanas laiks. Papildu kompetence ietver ieteicamu papildu mācību vielu patstāvīgai apgūšanai, kas var papildināt zināšanas kādā bāzes kompetencē, un tās apguves laiks neietekmē kopējo mācību kursa apgūšanas laiku. Šo kompetenci izglītojama var apgūt ārpus mācību procesa.

Bāzes kompetenču izvēles algoritma mērķis ir noteikt kompetences, definējot maksimālo iespējamo katras kompetences apgūšanas laiku, kas kopsummā visām kompetencēm nepārsniedz mācību kursa apguvei atvēlēto laiku (3.3. att.). Ja visu kompetenču apgūšanas laiks pārsniedz mācību kursam atvēlēto laiku, tad tiek izvēlēts mazākais katras kompetences apguves laiks.

Izstrādājot mācību plānu, sistēma nosaka nepieciešamo laiku, kas nepieciešams katras kompetences apgūšanai, izmantojot moduļu kārtotā algoritmu. Vispirms tiek noteikta bāzes kompetenču kopa, kas ir obligāta mācību kursa apgūšanai $MS = \{K_{main_1}, K_{main_2}, \dots, K_{main_n}\}$.

Nosakot bāzes kompetenču kopu, jāievēro nosacījums: $MP(t) > \sum_{i=1}^n K_n main_i(t)$, t. i., jāizvēlas tāda moduļu apgūšanas secība, lai mācību kursam atvēlētajā laika periodā $K(t)$ var apgūt visas bāzes kompetences $K_n main_i$. Gadījumā, ja $\sum_{i=1}^n K_n main_i(t) > MP(t)$, sistēma veic moduļu izvēli ar mazāku apguves laiku noteiktu kompetenču apguvei.

Bāzes kompetenču izvēles algoritms redzams 3.3. attēlā. AMPS pamatuzdevums ir nodrošināt bāzes kompetenču apguvi pilnā apmērā. Algoritma izpildes laikā sistēma veic izglītojamā apgūto kompetenču zināšanu līmeņa validāciju, izmantojot zināšanu aizmiršanas apjoma koeficientu.

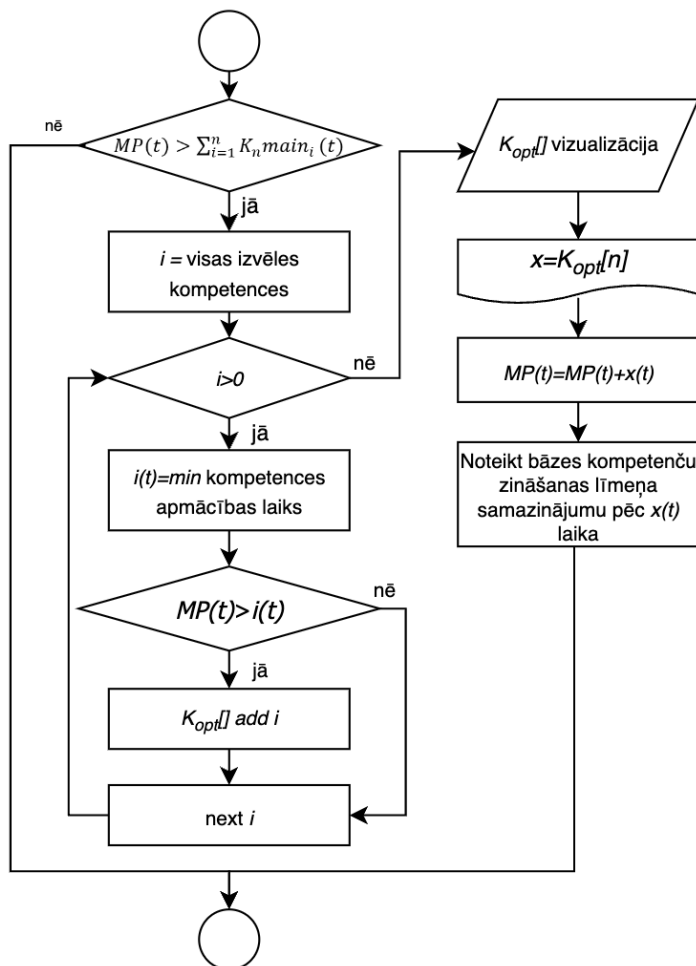


3.3. att. Bāzes kompetenču izvēles algoritms.

Izvēles kompetenču izvēles algoritma darbību nosaka divi faktori:

- laiks bāzes kompetenču apgūšanai;
- izglītojamā zināšanu līmenis bāzes kompetencēs.

Izvēles kompetenču kopu nosaka atlikušais mācību procesa īstenošanas laiks un maksimālais izvēles kompetenču skaits, kas var tikt apgūts noteiktajā laikā. Izvēles kompetenču izvēles algoritms redzams 3.4. attēlā.



3.4. att. Izvēles kompetenču izvēles algoritms.

Izvēles kompetenču apgūšanas laikā tiek lietots zināšanu aizmīšanas apjoma noteikšanas modelis visām bāzes kompetencēm.

Gadījumos, ja bāzes kompetenču zināšanu līmenis ir zemāks par sistēmā definēto robežvērtību, tiek inicializēts bāzes kompetenču izvēles algoritms mācību vielas atkārtošanai.

Papildu kompetenču apgūšanas laiks ir laiks, kas neietekmē kopējo mācību kursa apgūšanas laiku, jo papildu kompetences ietver ieteicamu papildu mācību vielu patstāvīgai apgūšanai. Tādēļ papildus iekļauto kompetenču skaits neietekmē mācību plāna struktūru un var būt integrēts jebkurā vietā mācību kursa ietvaros. Papildu kompetenču skaita izvēlei tiek piedāvāts izmantot divas pieejas:

- ar citām mācību kursā iekļautajām kompetencēm saistīts modulis, kur saite ir definēta mācību materiāla izstrādes laikā;
- ar citām mācību kursā iekļautajām kompetencēm saistīts modulis, kur saite tiek

noteikta, izmantojot aprakstošās teksta daļas salīdzinošo analīzi (promocijas darbā netika veikti pētījumi, kas ir saistīti ar teksta fragmentu salīdzināšanas metožu izpēti; mācību kompetenču sasaistes identificēšanai tika izmantota atslēgvārdu meklēšana citos kompetenču aprakstos).

Gadījumos, ja tiek konstatēta saite ar kādu mācību kursā esošu bāzes vai izvēles kompetenci, pēc papildu kompetenču apgūšanas tiek atjaunots to kompetenču zināšanu līmenis, ar kurām bija saite.

Gadījumos, kad neeksistē mācību kursa paraugplāns vai ir nepieciešams izstrādāt individuālo mācību plānu pirms mācību procesa iesākšanas, promocijas darbā tiek piedāvāts izmantot ģenētisko algoritmu mācību moduļa iekļaušanai mācību programmā. Ģenētiskais algoritms ir paredzēts optimizācijas problēmu risināšanai. Salīdzinot ar randomizētu algoritmu, kurā katrā iterācijā tiek ģenerēts jauns nejaušs risinājums, ģenētiskais algoritms katrā iterācijā nosaka labākos risinājumus to iekļaušanai nākamās paaudzes ģenerēšanai (*Liashchynskyi*, 2019). Promocijas darbā ģenētiskais algoritms tiek izmantots, lai ģenerētu vairākus mācību plānu variantus, no kuriem labākais risinājums tiek izvēlēts kā optimālais mācību plāns, lai iegūtu vislabākos izglītojamā rezultātus.

Lai izvairītos no nelietderīgas mācību plāna maiņas, ir izstrādāta tā pārkonfigurēšanas metode, kas pamatojas uz mācību procesam atvēlētā laika novērtējumu un izglītojamā zināšanu līmeņa noteikšanu. Ņemot vērā pētījuma rezultātus, ir definēti nosacījumi mācību plāna maiņai:

- laiks, kas nepieciešams atlikušo mācību moduļu apgūšanai, ir lielāks par neapgūto moduļu apgūšanas laiku;
- izglītojamā zināšanu līmenis kompetencē ir mazāks par robežvērtību $K[c_i(min)]$;
- izglītojamais neturpina virzību mācību kursa ietvaros, un gaidīšanas laiks ir lielāks par definēto robežvērtību.

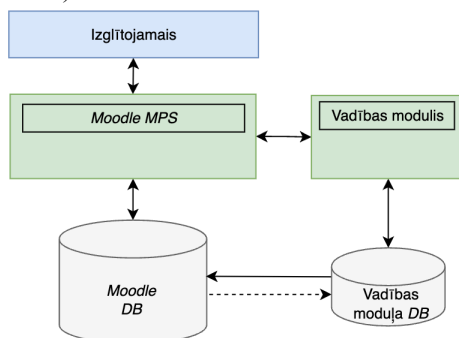
4. IZSTRĀDĀTO METOŽU UN MODEĻU EKSPERIMENTĀLA PĀRBAUDE

Nodaļā apskatīta promocijas darbā izstrādāto metožu un modeļu eksperimentāla aprobācija, izmantojot eksperimentus reālajā mācību vidē. Definētas eksperimenta laikā izstrādātās vadības sistēmas prasības un ierobežojumi, kā arī aprakstītas tās funkcionālās un nefunkcionālās prasības.

Aprakstīti trīs eksperimenti ar izstrādāto adaptīva mācību procesa vadības moduli, kas nodrošina *Moodle* mācību platformas vadību.

1. Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modeļa aprobācija ar statisko mācību plānu.
2. Adaptīva mācību plāna ģenerēšanas algoritma aprobācija ar determinētu mācību procesa īstenošanas laiku.
3. Adaptīva mācību plāna ģenerēšanas algoritma aprobācija zināšanu līmeņu līdzsvarošanai.

Promocijas darbā izstrādāto metožu un algoritmu ieviešanai *Moodle* atvērtā koda MPS ir izmantots izstrādāts vadības modulis (VM), kas nodrošina adaptīva mācību procesa vadību, izmantojot MPS resursus (4.1. att.).



4.1. att. *Moodle* un vadības moduļa mijiedarbība.

VM izstrādē tika iesaistīta SIA “*Steam Education*” komanda, kas nodrošināja promocijas darbā aprakstīto metožu un algoritmu integrāciju komersanta projektos, kas mācību resursu uzglabāšanai un pārvaldībai izmanto *Moodle* sistēmu.

4.1. Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modeļa aprobācija ar statisko mācību plānu

Izmantojot ESF projektā “Nodarbināto personu profesionālās kompetences pilnveide” realizētās apmācības sadarbībā ar SIA “*Steam Education*”, tika izstrādāts mācību kurss “Informācijas digitalizācijas un publicēšanas metodes”, kas nodrošina 12 kompetenču apgūšanu tiešsaistes režīmā. Mācību pārvaldības sistēmā tika ievietoti 92 moduļi, kas nodrošina nepieciešamo zināšanu apgūšanu un iegūto zināšanu līmeņa sasniegšanu. Mācību programmas moduļu pasniegšanas secība tika izstrādāta, balstoties licencētā mācību kursa plānā.

Ekspierimentu laikā visu mācību procesa pārraudzību un vadību nodrošināja pedagogs.

Ekspierimenta mērķi

1. Pārbaudīt promocijas darbā piedāvāto mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modeli, izmantojot definētu mācību plānu.
2. Novērtēt mācību plāna dzīves ilguma pieaugumu, manuāli ģenerējot mācību plānu, balstoties izglītojamā kompetenču zināšanu līmeņa noteikšanas modelī.
3. Novērtēt mācību plāna dzīves ilguma pieaugumu, manuāli mainot moduļu pasniegšanas secību, ņemot vērā zināšanu aizmīršanas apjoma noteikšanas modeli.

Ekspierimenta apraksts

Vispirms jānosaka mācību plāna dzīves ilguma etalonvērtības. Par etalonvērtību tiek uzskatīts mācību plāna realizācijas laiks t_s , kas nepieciešams izglītojamam, lai apgūtu mācību programmā iekļautās kompetences, izmantojot definēto moduļu apgūšanas secību.

Ekspierimentu laikā izglītojamais nevar atkārtoti apgūt mācību vielu. Ekspierimentu laikā mērķauditorijas grupai tika noteikts minimālais zināšanu līmenis $K[c_i(min)] = 50\%$. Tiek pieņemts, ka mācību plānu var uzskatīt par aktīvu tik ilgi, kamēr mācību laikā apgūtās kompetences zināšanu līmenis ir virs robežas $K[c_i(min)]$.

Tiek ieviests mācību plāna realizācijas koeficients δ_e , kas norāda mācību plāna īstenošanas ilgumu attiecībā pret etalona modeli:

$$\delta_e = \left(\frac{t'}{t_s} - 1\right) * 100, \quad (4.1.)$$

kur t' – mācību plāna dzīves ilgums apskatāmajā posmā (minūtes);

t_s – mācību plāna realizācijas laika etalonvērtība (minūtes).

Tiek ieviests mācību procesa pārvaldībā iesaistīto personu izmaksu koeficientu δ_p , kas nosaka mācību kursa īstenošanas ekonomisko efektivitāti:

$$\delta_p = \left(\frac{C^{st}/t_s}{C/t'} - 1\right) * 100, \quad (4.2.)$$

kur C/t' – sistēmas lietošanas izmaksas mācību kursa īstenošanas laikā;

C^{st}/t_s – etalona modeļa īstenošanas izmaksas naudas vienībā.

Ekspierimenta laikā mācību kursa īstenošanas izmaksas ir noteiktas atbilstoši pedagoga likmei projekta īstenošanas laikā, kas ir vienāda ar 30 EUR par akadēmisko stundu. Tiek pieņemts, ka pedagogs patērē piecas minūtes mācību plāna aktivizācijai katram izglītojamam katras nodarbības sākumā, nodrošinot manuālu mācību plāna pielāgošanu.

Tiek ieviests koeficients δ_r , kas norāda izglītojamo kopējo zināšanu līmeņu sasniegto vidējo rezultātu noteiktajā mācību grupā:

$$\delta_r = \left(\frac{\sum_{i=1}^n User[c_i]}{n}\right) * 100, \quad (4.3.)$$

kur $User[c_i]$ – zināšanu līmenis i-tā kompetencē;

n – apgūto mācību kompetenču skaits.

4.1. tabula

Eksperimenta rezultātu apkopojums

Izglītojamo skaits	Eksperimenta 1. posms				Eksperimenta 2. posms				Eksperimenta 3. posms			
	Statistiskais mācību plāns				Mācību plāna ģenerēšana, izmantojot zināšanu līmenī balstītu kompetenču noteikšanas modeli				Mācību plāna ģenerēšana, izmantojot zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modeli			
	t'	δ_e	δ_p	δ_r	t'	δ_e	δ_p	δ_r	t'	δ_e	δ_p	δ_r
1	1512	-29 %	-29 %	-53 %	1708	-20 %	-20 %	-63 %	1980	-7 %	-7 %	-72 %
5	1586	-25 %	-25 %	-68 %	1729	-19 %	-306 %	-69 %	2030	-5 %	-377 %	-77 %
10	1572	-26 %	-26 %	-64 %	1760	-17 %	-727 %	-68 %	1997	-6 %	-838 %	-74 %
15	1603	-25 %	-25 %	-59 %	1747	-18 %	-1131 %	-65 %	2020	-5 %	-1324 %	-75 %
20	1572	-26 %	-26 %	-72 %	1729	-19 %	-1525 %	-67 %	2008	-6 %	-1787 %	-73 %
25	1608	-24 %	-24 %	-67 %	1785	-16 %	-1997 %	-66 %	1961	-8 %	-2204 %	-77 %
t_s	2128											

Analizējot eksperimenta trīs posmus, koeficients δ_e vērtība ir negatīva, kas liecina par to, ka pedagoga vadītajā mācību procesā izglītojamo apgūst mācību kursā iekļauto informāciju, nepārsniedzot atvēlēto laiku. Tādējādi var secināt, ka katrā eksperimenta posmā eksistē laiks ($t_s - t'$), kas var tikt izmantots atkārtotai mācību kompetences apgūšanai sasniedzamo rezultātu uzlabošanai. 3. posmā koeficients δ_e (-6 %), salīdzinot ar 1. posma eksperimenta δ_e (-26 %), ir mazāks, kas liecina par to, ka kompetenču atkārtošana ir atlicis mazāk laika un mācību plāna realizācijas ilgums tuvojas maksimāli kursā definētam.

Mācību procesa īstenošanas laikā pedagogs patērē piecas minūtes katras dienas mācību plāna aktivizācijai katram izglītojamam. Nodarbības ilgums nevar būt mazāks par četrām akadēmiskajām stundām (45 min * 4). Tādējādi var noteikt, ka, īstenojot mācību procesu, izmantojot statistisko mācību plānu (2128 minūtes), pedagoga darba samaksa ir 39,41 EUR, kas noteikta, izmantojot 4.4. formulu.

$$\text{pedagoga samaksa} = \frac{t'/\text{mācību stundas ilgums}/\text{mācību stundu skaits} \cdot \text{pedagoga darba laiks nodarbībā} \cdot \text{likme}}{\text{mācību stundas ilgums}} \quad (4.4.)$$

Eksperimenta laikā iegūtie rezultāti liecina, ka izglītojamo sasniedzamie rezultāti (koeficienta δ_r vērtība) ir atkarīgi no mācību kursa ilguma un mācību plāna ģenerēšanas metodes. Gadījumos, kad pedagogs eksperimenta 2. posmā (δ_r vērtība ir 67 %) un 3. posmā (δ_r vērtība ir 75 %) pielāgoja mācību plānu katram izglītojamam, zināšanu līmenis ir pieaudzis, salīdzinot ar 1. posma rezultātu (δ_r vērtība ir 64 %).

Lai noteiktu, kurš no eksperimenta posmiem ir efektīvāks, tika veikta iegūto faktoru padziļināta izpēte. Pirmajā iterācijā tika pārbaudīti eksperimenta 1. posmā un 3. posmā iegūtie rezultāti. Datu izpētei tika definēti divi faktori: statistiskais faktors (ST), kas apraksta iegūto zināšanu līmeni noslēguma pārbaudē, veicot eksperimentu ar statistisko mācību plānu; adaptīvais faktors (AD2), kas apraksta iegūto zināšanu līmeni noslēguma pārbaudē, veicot eksperimentu ar ģenerēto mācību plānu, izmantojot zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modeli.

Lai noteiktu, kuru metodi ir jāizmanto datu apstrādei, tika pārbaudīta datu sadalījuma atbilstība normālajam sadalījumam. Divu neatkarīgu izlašu salīdzināšanai pēc viena parametra tika izmantots Mann–Vitnija U tests (*Mann-Whitney U test*). Analīzes sākumā tika izvirzīta nulles hipotēze H_0 , ka izglītojamo zināšanu līmenis nav atkarīgs no mācību plāna veida

(statiskais vai adaptīvais plāns).

U testa rezultāti parādīja, ka atšķirība starp ST un AD2 parametriem ir statistiski nozīmīga ($p = 0,001$). H_0 hipotēze nav apstiprināta, tādējādi var secināt, ka mācību sasniedzamie rezultāti, īstenojot mācību procesu ar adaptīvo mācību plānu un statisko mācību plānu, būtiski atšķiras ar varbūtību 99,9 % ($p = 0,001$).

Otrajā iterācijā tika pārbaudīti eksperimenta 1. posma un 2. posmā iegūtie rezultāti. Datu izpētei tika definēts adaptīvs faktors (AD1), kas apraksta iegūto zināšanu līmeni noslēguma pārbaudē, veicot eksperimentu ar ģenerēto mācību plānu, izmantojot zināšanu līmeni balstītu kompetenču noteikšanas modeli.

Divu neatkarīgu izlašu salīdzināšanai pēc viena parametra tika izmantots Manna–Vitnija U tests. Tika izvirzīta nulles hipotēze H_0 , ka izglītojamo zināšanu līmenis nav atkarīgs no mācību plāna veida (statiskais vai adaptīvais plāns).

U testa rezultāti parādīja, ka atšķirība starp ST un AD1 parametriem ir statistiski nozīmīga ($p = 0,034$). H_0 hipotēze nav apstiprināta, tādējādi var secināt, ka mācību sasniedzamie rezultāti, īstenojot mācību procesu ar adaptīvo mācību plānu un statisko mācību plānu, būtiski atšķiras ar varbūtību 96,6 % ($p = 0,034$).

Eksperimenta rezultātu apkopojums

1. Pieaugot ar mācību plāna izpildes uzraudzību saistīto uzdevumu skaitam, pieaug pedagoga izmaksas. Ņemot vērā eksperimenta 2. posma rezultātus, ieteikums ir mācību plāna pārkonfigurēšanas metodi izmantot automātiskajā režīmā.
2. Izmantojot zināšanu līmeni balstītu kompetenču noteikšanas modeli mācību plāna ģenerēšanai, pieaug mācību plāna īstenošanas ilgums, apgūstot tikai jaunas, iepriekš neapgūtas kompetences.
3. Izmantojot zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modeli mācību plāna ģenerēšanai, ir iespēja palielināt izglītojamā zināšanu līmeni mācību kursa beigās.
4. Eksperimenta rezultāti liecina, ka mācību plāna pārkonfigurēšanas metode ļauj palielināt kopējo iegūto zināšanu līmeni visās mācību kursā apgūtajās kompetencēs (δ , virs 60 %).

4.2. Adaptīva mācību plāna ģenerēšanas algoritma aprobācija ar determinētu mācību procesa īstenošanas laiku

Izmantojot mācību platformu *macam.lv*, kas nodrošina tiešsaistes apmācību transportlīdzekļu “B” kategorijas vadītāja apliecības iegūšanai sadarbībā ar SIA “Tālmācības autoskola”, Moodle AMPS tika integrēts mācību plāna ģenerēšanas algoritms, kas nodrošina moduļu pasniegšanas secības izkārtojumu kompetenču apgūšanai. Kurss ietver septiņas kompetences, kas sadalītas astoņās nodarbībās. Kopējais mācību procesa īstenošanas laiks ir 40 stundas.

Ekspierimenta mērķis

1. Pārbaudīt promocijas darbā piedāvāto moduļu kārtošanas algoritmu mācību plāna izstrādei ar determinētu apmācības laiku.
2. Pārbaudīt promocijas darbā piedāvāto kompetenču kārtošanas algoritma ietekmi uz sasniedzamo rezultātu kvalitāti visās kompetencēs.

Ekspierimenta apraksts

Ekspierimentā tika uzskatīts, ka mācību plāns ir izpildīts tad, kad izglītojamais ir izpildījis visas mācību procesā iesaistītās aktivitātes un nokārtojis noslēguma zināšanu pārbaudes testu. Par etalonvērtību tika pieņemts katrā kompetencē sasniegto zināšanu līmenis $M[c]_s$, izmantojot mācību programmā definēto moduļu apgūšanas secību.

Tika ieviests koeficients δ_v , kas atspoguļo iegūto zināšanu līmeņa attiecību procentos katrai mācību kursā iekļautajai kompetencei pret etalonmodeļi:

$$\delta_v = \left(\frac{M[c]'}{M[c]_s} - 1 \right) * 100, \quad (4.5.)$$

kur $M[c]'$ – iegūtais zināšanu līmenis apskatāmajā kompetencē;

$M[c]_s$ – etalonmodeļa īstenošanas laikā izglītojamā zināšanu līmenis apskatāmajā kompetencē.

Ekspierimenta laikā bāzes kompetenču daudzums netika mainīts. Mācību plāna ģenerēšanas algoritms izmantoja etalonmodeļa noteikto mācību moduļu skaitu, kas nepieciešams mācību kursa apguvei. Ekspierimenta rezultāti apkopoti 4.2. tabulā.

4.2. tabula

Ekspierimenta rezultātu apkopojums

Kompetence	Minimālais mācību stundu apjoms	Mācību moduļu skaits	Ekspierimenta 1. posms			Ekspierimenta 2. posms			Ekspierimenta 3. posms		
			Statistiskais mācību plāns			Kompetenču kārtošanas algoritms			Moduļu kārtošanas algoritms		
			Kompetenču apgūšanas secība	Papildu mācību moduļu skaits	Iegūtais zināšanu līmenis	Kompetenču apgūšanas secība	Papildu mācību moduļu skaits	δ_v	Kompetenču apgūšanas secība	Papildu mācību moduļu skaits	δ_v
K1	3	12	1		30 %	1		17 %	1	6	67 %
K2	3	14	2		50 %	3		30 %	2	4	20 %
K3	8	40	3	4	80 %	2	4	- 12 %	3		- 6 %
K4	4	20	4	4	80 %	6	4	0 %	4	2	0 %
K5	4	16	5	3	70 %	4	3	7 %	5	3	14 %
K6	7	35	6	2	90 %	5	2	0 %	6		- 6 %
K7	3	10	7	4	95 %	7	4	0 %	7		- 5 %

Ņemot vērā mācību kursa prasības, katrai kompetencei eksistē nepieciešamais apguves moduļu minimums. Balstoties uz šo minimumu, tiek noteikts minimālais mācību stundu skaits, kas ir nepieciešams kompetenču apgūšanai, kas ir nemainīga vērtība ar definētu laiku. Kopējais mācību kursa īstenošanas ilgums ir 40 stundas. Tādējādi, apgūstot bāzes kompetences, izglītojamām paliek laiks, kas jāizmanto kursa iekļautās informācijas atkārtošanai.

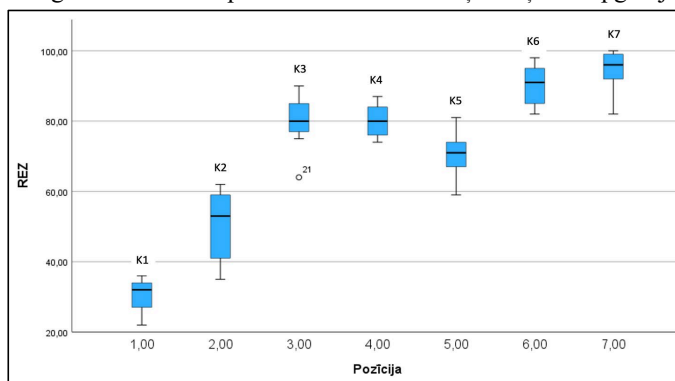
Ekspierimenta 1. posmā, izmantojot pedagoga izstrādāto mācību plānu, secīgi tika apgūtas visas mācību kursa kompetences, izmantojot obligātus moduļus, un piecām kompetencēm (K3, K4, K5, K6, K7) palielināts to apgūšanas laiks, pievienojot papildu mācību moduļus. Rezultātā,

pievienojot jaunus moduļus mācību plānam, kopējais kursa apgūšanas laiks ir vienāds ar 40 akadēmiskajām stundām. Veicot izglītojamā zināšanu pārbaudi kursa noslēgumā, tika konstatēts, ka zināšanu līmenis kompetencēs, kas tika apgūtas kursa sākumā vai izmantojot tikai minimālo kompetenču apgūšanas laiku, ir zemāks nekā kompetencēs, kas tika apgūtas kursa beigās vai kurām bija palielināts to apgūšanas laiks, pievienojot jaunus mācību moduļus.

Eksperimenta 2. posmā, izmantojot mācību kompetenču kārtošanas algoritmu, tika veikta jauna mācību plāna izstrāde, nemainot katrā kompetencē iekļauto mācību moduļu skaitu, bet mainot to pasniegšanas secību. Izmantojot iegūtās koeficienta δ_v vērtības, var redzēt, ka kompetenču kārtošanas algoritms ļauj palielināt iegūto zināšanu līmeni kompetencēs, novietojot kompetenci mācību plāna vidū vai noslēgumā (piemēram, kompetences K2 zināšanu līmeņa pieaugums ir 30 % un to apgūšanas secība mācību plānā tika mainīta no 2. uz 3. pozīciju). Kompetencē, kas tiek apgūta mācību kursa sākumā, saglabājas zems iegūto zināšanu līmenis (piemēram, K3 kompetencē iegūto zināšanu līmeņa samazinājums ir 12 %).

Eksperimenta 3. posmā, izmantojot mācību moduļu kārtošanas algoritmu, tika veikta jauna mācību plāna izstrāde, mainot katras kompetences pasniegšanas laiku, izmantojot eksperimenta 1. posmā noteikto kompetenču pasniegšanas secību. Izmantojot iegūto zināšanu līmeņa rezultātus, var redzēt, ka moduļu kārtošanas algoritms ļauj līdzsvarot iegūto zināšanu līmeņu rezultātus starp visām mācību kursa iekļautajām kompetencēm (K1, K2 un K5 iegūtais zināšanu līmenis tika paaugstināts).

Lai noteiktu, vai kompetenču apgūšanas secība bez iespējas to atkārtot ietekmē sasniedzamo rezultātu noslēguma pārbaudē, tika veikta iegūto faktoru padziļināta izpēte. Statiskā mācību plāna īstenošanas rezultāti liecina, ka sasniedzamais rezultāts ir atkarīgs no kompetenču pasniegšanas secības. Veicot datu analīzi, ir redzams (4.2. att.), ka, izmantojot statisko mācību plānu, sākotnējā daļā iekļautajā kompetencē (K1) sasniedzamā rezultāta vidējā vērtība $\bar{x} = 30,22$, minimālā vērtība ir 22, maksimālā vērtība ir 36, amplitūda (starpība starp lielāko un mazāko vērtību) ir 14, mediāna ir vienāda ar 32, bet mācību plāna noslēgumā apgūtajā kompetencē (K7) sasniedzama rezultāta vidējā vērtība $\bar{x} = 94,889$, minimālā vērtība ir 82, maksimālā vērtība ir 100, amplitūda (starpība starp lielāko un mazāko vērtību) ir 18, mediāna ir vienāda ar 96. Iegūtie dati liecina par lielu zināšanu līmeņu atšķirību apgūtajās kompetencēs.



4.2. att. Statiskā mācību plāna sasniedzamie rezultāti noslēgumā pārbaudē.

Tika izvirzīta nulles hipotēze H_0 , ka kompetenču apgūšanas pozīcija mācību plānā neietekmē sasniedzamo rezultātu. Mācību programmā iekļautajās kompetencēs nav norādītas prasības to iekļaušanai mācību programmā, tādējādi kompetences apgūšanas secība var tikt mainīta.

Datu analīzē pirmajā posmā tika apskatīti $K2$ kompetencē sasniegtie rezultāti, mainot kompetenču pasniegšanas secību. Datu izpētei tika definēti divi faktori: statistiskais faktors ($MP1K2$), kas apraksta otrajā kompetencē ($K2$) iegūto zināšanu līmeni noslēguma pārbaudē, izmantojot parauga mācību plānu, un faktors ($MP2K2$), kas apraksta otrajā kompetencē ($K2$) iegūto zināšanu līmeni noslēguma pārbaudē, izmantojot ģenerēto mācību plānu.

Pētāmo datu empīriskais sadalījums atbilst normālajam sadalījumam, tādēļ atšķirību starp izlasēm noteikšanai tika izmantots T tests. Ar T testu saistītām izlasēm, analizējot atšķirības starp skalu mērījumiem, tika secināts, ka visiem skalu pāriem atšķirības vērtējumiem, apgūstot kompetenci kā otro vai trešo, ir statistiski nozīmīgas ($0,001 \leq p \leq 0,018$). Atšķirības ir statistiski nozīmīgas, tāpēc tās var attiecināt uz visu attiecināmo kopu ar augstu ticamības pakāpi.

Datu analīzē otrajā posmā tika apskatīti $K3$ kompetencē sasniegtie rezultāti, mainot kompetenču pasniegšanas secību. Datu izpētei tika definēti divi faktori: statistiskais faktors ($MP1K3$), kas apraksta trešajā kompetencē ($K3$) iegūto zināšanu līmeni noslēguma pārbaudē, izmantojot parauga mācību plānu, un faktors ($MP2K3$), kas apraksta trešajā kompetencē ($K3$) iegūto zināšanu līmeni noslēguma pārbaudē, izmantojot ģenerēto mācību plānu.

Divu neatkarīgu izlašu salīdzināšanai pēc viena parametra tika izmantots Manna–Vitnija U tests. U testa rezultāti parādīja, ka atšķirība starp $MP1K3$ un $MP2K3$ parametriem ir statistiski nozīmīga ($p = 0,003$). H_0 hipotēze nav apstiprināta, t. i., atšķirības ir statistiski nozīmīgas, tādēļ tās var attiecināt uz visu datu kopu ar augstu ticamības pakāpi.

Eksperimenta rezultātu apkopojums

1. Statiskā mācību plāna izmantošana neļauj apgūt mācību kompetences atbilstošajā līmenī (tika sasniegt minimāli 30 % noslēguma pārbaudē). Zināšanu līmenis kompetencēs, kas ir apgūtas mācību kursa sākumā ar mazāku mācību procesam atvēlēto laiku, nav sasniegts pietiekamā apjomā.
2. Mācību kompetenču kārtošanas algoritma izmantošana ļauj palielināt izglītojamo sasniegto zināšanu līmeni kompetencēs ar mazu apgūšanas laiku, izvietojot šādu kompetenču moduļus mācību plāna beigū daļā.
3. Izmantojot mācību moduļu kārtošanas algoritmu, kompetencēs sasniegtais zināšanu līmenis ir līdzsvarots starp visām mācību kursā apgūtajām kompetencēm.

4.3. Adaptīva mācību plāna ģenerēšanas algoritma aprobācija zināšanu līmeņa līdzsvarošanai

Izmantojot mācību platformu *das.lv*, kas nodrošina tiešsaistes apmācības nodarbības pieaugušajiem, tika veikts eksperiments ar mērķi palielināt izglītojamo zināšanu līmeni, apgūstot ar informācijas tehnoloģijām saistītas profesionālās pilnveides izglītības tālmācības mācību programmu. Eksperimenta laikā tika izmantots mācību kurss “Finanšu datu analīze un

pārskatu sagatavošana *Excel* vidē”, kas nodrošina 160 stundu mācību programmas apgūšanu neklātienē formā. Neklātienē mācību programmas realizācijas forma paredz ne mazāk kā 30 % no mācību procesa īstenot klātienē, pārējo – neklātienē formā, izmantojot pieejamos mācību resursus. Saskaņā ar mācību programmas licenci neklātienē formā tiek realizētas teorijas nodarbības 52 stundu apjomā un praktiskie darbi 60 stundu apjomā. Izglītojamā zināšanu līmenim katrā kompetencē ir jābūt vismaz 55 %.

Eksperimenta mērķis

1. Pārbaudīt promocijas darbā izstrādāto mācību plāna pārkonfigurēšanas metodes izmantošanu rezultātu sasniegšanai visās kompetencēs pēc iespējas mazākā laika posmā.
2. Novērtēt kompetenču zināšanu līmeņu līdzsvarošanas ietekmi uz mācību procesa īstenošanas laiku.
3. Novērtēt mācību plāna pārkonfigurēšanas metodes ietekmi uz iegūto zināšanu līmeni visās kompetencēs.

Eksperimenta apraksts

Eksperimentā tika noteikts, ka mācību plāns ir izpildīts tad, kad izglītojamais ir izpildījis visas mācību procesā paredzētās aktivitātes, sasniedzot vismaz minimālās prasības visās kompetencēs. Par etalona vērtību tika noteikts mācību plāna realizācijas laiks t_s , kas ir nepieciešams izglītojamam, lai apgūtu mācību kursā iekļautās kompetences atbilstošajā līmenī, izmantojot definētu moduļu apgūšanas secību.

Tika ieviests kompetenču apgūšanas novirzes koeficients δ_i , kas liecina par apskatāmajā kompetencē iegūto zināšanu līmeņa novirzi no vidējā zināšanu līmeņa visās apgūtajās kompetencēs.

$$\delta_i = K[c_i] - \frac{\sum_{n=1}^m K[c_n]}{m}, \quad (4.6.)$$

kur $K[c_i]$ – mācību kursa i -tas kompetences izglītojamā zināšanu līmenis;

m – mācību kursā iekļauto kompetenču skaits.

Eksperimenta rezultāti

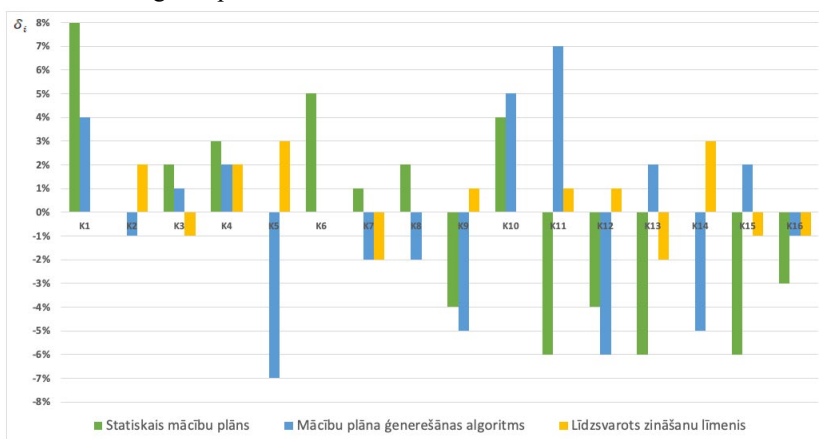
Kompetence	Eksperimenta 1. posms			Eksperimenta 2. posms			Eksperimenta 3. posms		
	Statistiskais mācību plāns			Mācību plāna ģenerēšanas algoritms			Zināšanu līmeņu līdzsvarošana		
	legūtais zināšanu līmenis %	Mācību moduļu skaits	δ_i	legūtais zināšanu līmenis %	Mācību moduļu skaits	δ_i	legūtais zināšanu līmenis %	Mācību moduļu skaits	δ_i
K1	69 %	5	8 %	66 %	7	4 %	60 %	6	0 %
K2	61 %	7	0 %	61 %	5	- 1 %	62 %	3	2 %
K3	63 %	8	2 %	63 %	7	1 %	59 %	3	- 1 %
K4	64 %	9	3 %	64 %	4	2 %	62 %	5	2 %
K5	61 %	7	0 %	55 %	7	- 7 %	63 %	3	3 %
K6	66 %	8	5 %	62 %	6	0 %	60 %	6	0 %
K7	62 %	9	1 %	60 %	6	- 2 %	58 %	5	- 2 %
K8	63 %	4	2 %	60 %	5	- 2 %	60 %	6	0 %
K9	57 %	5	- 4 %	57 %	4	- 5 %	61 %	6	1 %
K10	65 %	6	4 %	67 %	4	5 %	60 %	7	0 %
K11	55 %	8	- 6 %	71 %	3	9 %	61 %	3	1 %
K12	57 %	7	- 4 %	56 %	6	- 6 %	61 %	4	1 %
K13	55 %	8	- 6 %	64 %	5	2 %	58 %	4	- 2 %
K14	61 %	9	0 %	57 %	5	- 5 %	63 %	3	3 %
K15	55 %	4	- 6 %	64 %	6	2 %	59 %	3	- 1 %
K16	58 %	1	- 3 %	61 %	3	- 1 %	59 %	5	- 1 %
Vidējais zināšanu līmenis	61 %			62 %			60 %		
Kursa īstenošanas laiks	6660			5715			7020		

Eksperimenta mērķis ir noteikt katra posmā katras kompetences zināšanu līmeņa novirzi no visu kompetenču vidēja zināšanu līmeņa.

Eksperimenta 1. posmā tika izmantots pedagoga sagatavots statistiskais mācību plāns, kas ietver 105 mācību moduļus 16 kompetenču apgūšanai (4.3. tab.). Kopējais mācību kursa apgūšanas laiks – 6660 minūtes, vidējais zināšanu līmenis visās kompetencēs – 61 %, minimālais zināšanu līmenis kompetencē – 55 %, maksimālais – 69 %. Eksperimenta 1. posmā zināšanu pārbaude visās mācību kursā iekļautajās kompetencēs tika veikta mācību kursa noslēgumā.

Eksperimenta 2. posmā tika izmantots AMPS ģenerēts izglītojamā zināšanu līmenī balstīts mācību plāns, kas ietver 88 mācību moduļus 16 kompetenču apgūšanai. Mācību plāna ģenerēšanai klātienē nodarbībā kursa sākumā tika novērtēts izglītojamā zināšanu līmenis, izmantojot promocijas darbā izstrādāto zināšanu līmenī balstīto kompetenču noteikšanas modeli. Kopējais mācību kursa apgūšanas laiks – 5715 minūtes, vidējais zināšanu līmenis visās kompetencēs – 62 %, minimālais zināšanu līmenis kompetencē – 55 %, maksimālais – 71 %. Var secināt, ka mācību plāna pielāgošana izglītojamā zināšanu līmenim ļauj samazināt laiku, kas ir nepieciešams noteikto kompetenču apgūšanai, izslēdzot mācību moduļus, kas tiek uzskatīti par apgūtiem. Eksperimenta 2. posmā zināšanu pārbaude visās mācību kursā iekļautajās kompetencēs tika veikta mācību kursa noslēgumā.

Ekspierimenta 3. posmā tika izmantots ģenerēts mācību plāns, izmantojot zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modeli. Mācību plāns ietver 118 mācību moduļus 16 kompetenču apgūšanai. Mācību kursa sākumā tika novērtēts izglītojamā zināšanu līmenis un zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modeļa ietekmējošie parametri, izmantojot zināšanu līmenī balstītu kompetenču noteikšanas modeli. Ekspierimenta 3. posma rezultāti liecina, ka, nodrošinot izglītojamā zināšanu līmeņa līdzsvarošanu starp visām mācību kursā iekļautām kompetencēm, palielinās mācību kursa apguves laiks (kursa īstenošanas laiks ir 7020 minūtes), kas nepārsniedz kursa maksimālo definēto laiku. Vidējais zināšanu līmenis visās kompetencēs – 60 %, minimālais zināšanu līmenis kompetencē – 58 %, maksimālais – 63 %. Minimālais zināšanu līmenis 3. posmā palielinājās, salīdzinot ar 2. un 3. posma minimālo zināšanu līmeni noslēguma pārbaudē.



4.3. att. Zināšana līmeņu novirze no vidējā zināšanu līmeņa kursa ietvaros.

4.3. attēlā redzamas koeficienta δ_i vērtības, kas norāda katras kompetences zināšanu līmeņa novirzi no visu kompetenču vidējā zināšanu līmeņa katrā ekspierimenta posmā. Vislielākā novirze ir ekspierimenta 1. posmā, vismazākā – 3. posmā, samazinot zināšanu līmeņa starpību starp visām kompetencēm. Tādējādi 3. posmā zināšanu līmeņi tika līdzsvaroti starp visām kompetencēm.

Ekspierimenta rezultātu apkopojums

1. Izmantojot statisko mācību plānu, ir iespējams apgūt mācību saturu atvēlētajā laikā, sasniedzot mācību kursa definētās prasības – minimālo zināšanu līmeni katrā kompetencē vismaz 55 %.
2. Izmantojot adaptīva mācību plāna pārkonfigurēšanas metodi un zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modeli, ir iespēja samazināt kompetenču apgūšanas novirzes koeficienta δ_i vērtību, līdzsvarojot zināšanu līmeņu starpību starp visām kompetencēm. Izmantojot šo metodi, tiek palielināts mācību kursa apgūšanas laiks.

DARBA KOPĒJIE REZULTĀTI, SECINĀJUMI UN TURPMĀKIE PĒTĪJUMI

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt mācību plāna ģenerēšanas modeļus un metodes, kas ļauj līdzsvarot izglītojamā zināšanas līmeni mācību kursa noslēgumā un palielināt mācību plāna dzīves ilgumu.

Mērķis ir sasniegts, un visi darba uzdevumi ir izpildīti.

1. Izanalizēti esošie adaptīvā mācību procesa īstenošanas modeļi un metodes.
2. Noteikti faktori, kas nosaka ierobežojumus mācību satura pasniegšanai, un prasības mācību moduļa iekļaušanai mācību plānā.
3. Izstrādāts mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modelis.
4. Izstrādāti mācību plāna ģenerēšanas algoritmi, kas ļauj līdzsvarot izglītojamā zināšanu līmeni katrai mācību kursā apskatāmajai kompetencei.
5. Veikta mācību plāna pārkonfigurēšanas metodes un algoritmu eksperimentālā aprobācija reālās mācību pārvaldības sistēmās.

Veicot zinātniskās literatūras analīzi, secināts, ka pašlaik nav universālu risinājumu, kas nodrošinātu adaptīva mācību procesa īstenošanu automātiskā režīmā, kas būtu piemērots attālinātai apmācībai.

Promocijas darbs fokusējas uz mācību plāna pielāgošanu katram izglītojamam. Darba pirmajā nodaļā veiktais adaptīvas mācību pārvaldības sistēmu pētījumu apskats parādīja, ka pašlaik nav risinājumu, kas nodrošinātu mācību plāna pielāgošanu katram izglītojamam, nodrošinot katra apmācāmā zināšanu līmeņa līdzsvarošanu visās mācību kompetencēs sasniedzot vismaz minimālo zināšanu līmeni katrā kompetencē.

Veicot mācību pārvaldības sistēmas un mācību plāna ģenerēšanas literatūras analīzi, secināts, ka:

- 1) tiešsaistes mācību procesa īstenošanas sistēmas izmanto tehnoloģijas, kas tiek lietotas biznesa, sabiedriskajā un privātajā sektorā, nodrošinot visu līmeņu izglītību; lielais zinātnisko darbu klāsts, kas saistīts ar tiešsaistes mācību procesa adaptāciju izglītojamo vajadzībām, kā arī promocijas darbā aprakstītās problēmas, pamato šīs tēmas aktualitāti;
- 2) pēdējo gadu zinātnisko darbu analīze liecina, ka pētījuma objekts tiešsaistes mācību pārvaldības sistēmās ir mācību plāna adaptācija izglītojamā zināšanu līmenim un spējām apgūt mācību programmu bez pedagoga līdzdalības; pēdējā laikā ir izstrādātas vairākas metodes, kas palielina mācību procesa īstenošanas efektivitāti, nodrošinot augstāku mācību rezultāta sasniegšanas līmeni katrā mācību procesā iekļautajā kompetencē; promocijas darbā piedāvātā izglītojamā zināšanu līmenī balstītā adaptīvā mācību plāna ģenerēšanas metode nosaka mācību procesa īstenošanas prasības, kas ietekmē izglītojamā zināšanu līmeņa dinamiku visās mācību programmā iekļautajās kompetencēs.

Promocijas darba gaitā izstrādāts adaptīva mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modelis un plāna pārkonfigurēšanas metodes tā dzīves ilguma palielināšanai, līdzsvarojot izglītojamā zināšanu līmeni visās mācību programmā iekļautajās kompetencēs. Piedāvātie modeļi un metodes tika eksperimentāli aprobēti. Eksperimentu rezultāti parādīja, ka:

- 1) mācību plāna pārkonfigurēšanas metodes ir jāizmanto automātiskā režīmā, jo, pieaugot ar mācību plāna izpildes uzraudzību saistīto uzdevumu skaitam, pieaug pedagoga darba apmaksa;
- 2) izmantojot zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modeli mācību plāna ģenerēšanai, ir iespēja palielināt izglītojamā zināšanu līmeni mācību kursa beigās, kas samazina informācijas aizmiršanu apskatītajās kompetencēs;
- 3) mācību plāna pārkonfigurēšanas metodes ļauj palielināt kopējo iegūto zināšanu līmeni visās apgūtajās kompetencēs, nepalielinot kopējo mācību procesam atvēlēto laiku;
- 4) kompetenču kārtošanas algoritma izmantošana ļauj palielināt sasniegto zināšanu līmeni kompetencēs ar mazu apgūšanas laiku, izvietojot šīs kompetences mācību programmas beigu daļā;
- 5) izmantojot mācību moduļu kārtošanas algoritmu, kompetencēs sasniegtais zināšanu līmenis ir līdzsvarots starp visām mācību kursā apgūtajām kompetencēm;
- 6) mācību programmas īstenošanas laiks ir atkarīgs no definētajiem sasniedzamajiem rezultātiem; palielinot zināšanu līmeņa sliekšni, palielinās laiks, kas ir nepieciešams kompetenču atkārtotai apgūšanai programmas izvirzīto rezultātu sasniegšanai.

Promocijas darbā izvirzītās hipotēzes ir apstiprinātas.

Hipotēze. Izglītojamā zināšanu līmenī balstīta adaptīva mācību plāna ģenerēšanas metožu izmantošana ļauj līdzsvarot zināšanu līmeni starp visām mācību kursā iekļautām kompetencēm.

Pierādījums. Eksperimentu rezultāti pierādīja, ka mācību plāna pārkonfigurēšanas metode ļauj palielināt kopējo iegūto zināšanu līmeni visās mācību kursa apgūtajās kompetencēs, nepalielinot kopējo mācību procesam atvēlēto laiku. Izmantojot zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modeli mācību plānā ģenerēšanai, ir iespēja palielināt izglītojamā zināšanu līmeni mācību kursa noslēguma pārbaudē.

Hipotēze. Kompetenču iekļaušanas secība mācību plānā ietekmē izglītojamā sasniedzamo rezultātu noslēgumā pārbaudēs.

Pierādījums. Eksperimentu rezultāti pierādīja, ka statiskā mācību plāna izmantošana neļauj pilnvērtīgi apgūt mācību vielu, ja tās atkārtošana nav iespējama. Kompetenču kārtošanas algoritma izmantošana ļauj palielināt izglītojamā sasniegto zināšanu līmeni noslēguma pārbaudē.

Promocijas darba rezultāti ir izmantoti vairāku projektu realizācijā.

- ESF projektā “Nodarbināto personu profesionālās kompetences pilnveide” sadarbībā ar SIA “*Steam Education*” no 09.2020. līdz 06.2022. Projekta gaitā izstrādāts izglītojamā zināšanu līmeņa novērtēšanas rīks.
- Adaptīva mācību plāna novērtēšanas metode aprobēta projektā *www.macam.lv*, kas nodrošina tiešsaistes apmācību transportlīdzekļu B kategorijas vadītāja apliecības iegūšanai, sadarbībā ar SIA “Tālmācības autoskola”. Projekta gaitā mācību pārvaldības sistēmā tika integrēts mācību plāna ģenerēšanas algoritms, kas nodrošina moduļu pasniegšanas secību.
- Izglītojamā zināšanu līmenī balstīts adaptīva mācību plāna ģenerēšanas algoritms tika izmantots Rīgas Tehniskās universitātes Programmatūras inženierijas katedras izstrādātajā mācību platformā *das.lv*, kas nodrošina tiešsaistes apmācības nodarbības

pieaugušajiem, īstenojot profesionālās pilnveides neklātienas izglītības programmu.

- Sadarbībā ar SIA “FIV” un Latvijas Investīciju un attīstības aģentūras inovāciju vaučeru programmu Rīgas Tehniskajā universitātē tika īstenots projekts izglītojamā zināšanu līmeņa līdzsvarošanas metodes izstrādei, tiešsaistes apmācības transportlīdzekļu C kategorijas un E95 koda vadītāja apliecības iegūšanai.
- Sadarbībā ar SIA “FIV” un Norvēģijas finanšu instrumenta atbalstu tika izstrādāts digitāla mācību satura vadības modulis, kas nodrošina izglītojamā zināšanu līmenī balstīta adaptīva mācību plāna izstrādi pirmsskolas izglītības vecuma izglītojamiem, īstenojot pirmsskolas sagatavošanas mācību programmu.

Darba rezultāti ir izmantoti divos RTU studiju priekšmetos:

- “Adaptīvas datu apstrādes sistēmas (DIP320)”,
- “Lietišķo datorsistēmu programmatūra (DIP392)”.

Promocijas darba pētījumu turpmākie attīstības virzieni

- Integrēt adaptīva mācību plāna novērtēšanas modeli *Moodle* programmatūras līmenī, lai nodrošinātu lietotāja izvēlēto mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanu un rekomendāciju sniegšanu mācību procesa īstenošanas laikā.
- Integrēt mācību plāna pārkonfigurēšanas metodi sākotnējā mācību plāna izstrādei mācību platformās, kas nodrošinās rekomendācijas mācību satura izstrādes laikā, identificējot ar mācību plāna īstenošanu saistītu moduļu skaitu katras kompetences apgūšanai mācību programmas kontekstā.

BIBLIOGRĀFISKAIS SARAKSTS

Arnaudova V. (2022). Adaptive e-learning methodology, *Publisher: Plovdiv University Press "Paisii Hilendarski"* ISBN: 978-619-202-703-2.

Aseere A. , Millard D., Gerding E. (2011). An Agent Based Voting System for E-Learning Course Selection Involving Complex Preferences. *2011 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology, IAT 2011*. 2. p. 386–393. 10.1109/WI-IAT.2011.238.

Balogh Z., Turcáni M., Burianová M. (2019). Personalized Learning and Current Technologies in Teaching IT Related Subjects, *2019 International Symposium on Educational Technology (ISET)*, DOI: 10.1109/ISET.2019.00034.

Bruha I. (1989). Defining adaptive and learning systems. *Cybernetics and Systems: An International Journal*. 20. 77–88. 10.1080/01969728908902194.

Brusilovsky P. (1998). Methods and techniques of adaptive hypermedia, *Adaptive Hypermedia and Hypermedia*. – Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, p. 1–43.

Chen S. Y., Wang J. H. (2021) Individual differences and personalized learning: a review and appraisal, *Univ Access Inf Soc* 20, p. 833–849, DOI: 10.1007/s10209-020-00753-4.

Chen C. (2008). Intelligent web-based learning system with personalized learning path guidance, *Computers & Education* 5.

Ciloglugil B., Inceoglu M. M. (2018). An Adaptive E-Learning Environment Architecture Based on Agents and Artifacts Metamodel, *2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, p. 72–74, doi: 10.1109/ICALT.2018.00024.

Deborah L. Taylor, Yeung M., Bashed A. Z. (2021). Personalized and Adaptive Learning, *Part of the SpringerBriefs in Statistics book series (BRIEFSSTATIST)*.

Ibiyomi M., Johnson F., Olalekan A., Olaniyan, L. (2022). Survey for detecting the learning style of students using felder silverman learning style model (FSLSM). *Indian Journal of Scientific Research*. 10. 821. 10.11216/gsj.2022.01.57309.

Jaukovic J., Jocić K., Karabasevic G., Popovicv G., Stanujkic D., Zavadskas E., Nguyen P. T. (2020). A Novel Integrated PIPRECIA-Interval-Valued Triangular Fuzzy ARAS Model: E-Learning Course Selection. *Symmetry*. 12. 928. 10.3390/sym12060928.

Jonāne L. (2011). Skolēnu mācību sasniegumu mācību procesa vērtēšana, ESF darbības programmas 2007.–2013. gadam “Cilvēkresursi un nodarbinātība” prioritātes 1.2. “Izglītība un prasmes”.

Jurenoka S., Grundspenķis J. (2023). Development of Methods and Models for Generating an Adaptive Learning Plan Based on the User's Level of Knowledge, *Baltic Journal of Modern Computing*, Vol. 11 (2023), No. 1, 90–113.

Jurenoks A. (2017). Adaptive e-learning system based on student activity skills in Moolde system, *Society. integration. education. Proceedings of the International Scientific Conference*.

Kapenieks J. (2021). Spaced Learning Solution in the e-Learning Environment, *3th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2021): Proceedings*. Vol. 2.

Koch N. (2001). Software Engineering for Adaptive Hypermedia Systems: Reference Model, *Modeling Techniques and Development Process*. PhD thesis, Ludwig-Maximilians-Universität München.

Lange V. N. (1983). “О скорости забывания”. № 4. – p. 142–145.

Lee M. G. (2001). Profiling students' adaptation styles in web-based learning. *Computers and Education*, p. 121.–132.

Liaschynskiy P. (2019). Grid Search, Random Search, Genetic Algorithm: A Big Comparison for NAS, Machine Learning, Cornell University.

Lukašenko R. (2012). Studenta modeļa izstrāde intelektuālo apmācības sistēmu funkciju atbalstam. Promocijas darbs. Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga.

Moisa V. (2013). Adaptive Learning Management System, *Journal of Mobile, Embedded and Distributed Systems*, vol. V, no. 2, ISSN 2284-7472.

Muhammad B., Qi C., Wu Z., Ahmad H. (2022). GRL-LS: A Learning Style Detection in Online Education Using Graph Representation Learning. *Expert Systems with Applications*. 201. 117138. 10.1016/j.eswa.2022.117138.

Petroviča S. (2019), Pedagoģiskā moduļa realizācija emocionāli intelektuālā mācību sistēmā. Promocijas darbs. Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga.

Pratap R., Divyank S., Kuldeep O., Jadon S. (2022). A Survey on Various Representation Learning of Hypergraph for Unsupervised Feature Selection, *In book: Data, Engineering and Applications*.

Rollande R. (2015). Individualizētas studiju plānošanas kā pedagoģiskā moduļa sastāvdaļas izpēte un realizācija. Promocijas darbs. Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga.

Sharma M., Sahdev S. L., Singh G., Kumar B. (2020). Methodology for the Development of an Ontology based E-Learning Platform, *2020 International Conference on Computation, Automation and Knowledge Management (ICCAKM)*, p. 101–106, doi: 10.1109/ICCAKM46823.2020.9051540.

Sihombing J. H., Laksitowening K. A., Darwiyanto E.. (2020). Personalized E-Learning Content Based On Felder-Silverman Learning Style Model, *2020 8th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, DOI: 10.1109/ICoICT49345.2020.9166452.

Skola2030. (2021) [tiešsaiste] Kāpēc tiek veidoti mācību līdzekļu paraugi un nav iespējami visiem vienoti mācību materiāli? [skatīts 15.08.2022.]. Pieejams:<https://skola2030.lv/lv/jaunumi/blogs/kapec-tiek-veidoti-macibu-lidzeklu-paraugi-un-nav-iespejami-visiem-vienoti-macibu-materiali>.

SKOLA2030a. [tiešsaiste] Izglītība mūsdienīgai lietpratībai: mācību satura un pieejas apraksts [skatīts 08.2022.]. Pieejams: https://skola2030.lv/admin/filemanager/files/2/prezentacija_izgl_musdienigai.pdf.

Sridharan S., Saravanan D., Srinivasan A. K. (2021). Adaptive learning management expert system with evolving knowledge base and enhanced learnability. *Educ Inf Technol* 26, 5895–5916. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10560-w>.

Stern M., Woolf B. P. (1998). Curriculum Sequencing in a Web-Based Tutor. In: Goettl, B. P., Half, H. M., Redfield, C. L., Shute, V. J. (eds) *Intelligent Tutoring Systems*. ITS 1998. Lecture Notes in Computer Science, vol 1452. https://doi.org/10.1007/3-540-68716-5_63.

Tkachenko O., Tyrkov V. (2022). Distance Learning Management Systems, *2022 Digital Platform Information Technologies in Sociocultural Sphere* 5 (1):67–81.

Verkhova G. V., Akimov S. V., Prisyazhnyuk S. P. (2021). Model of Adaptive Educational and Methodological Complex for E-learning Systems, *2021 IV International Conference on Control in Technical Systems (CTS)*, p. 150–153, doi: 10.1109/CTS53513.2021.9562900.

Volodko I., Čerņajeva S., Eglīte I. (2021). Teaching Process Challenges of the RTU Higher Mathematics Lecturers at the E-Learning Environment (COVID-19), *13th International Conference on Education and New Learning Technologies: Conference Proceedings*.



Svetlana Jurenoka dzimusi 1980. gadā Siguldā. Rīgas Tehniskajā universitātē (RTU) ieguvusi bakalaura grādu datorvadībā un datorzinātnē (2002) un maģistra grādu informācijas tehnoloģijā (2004). Kopš 2017. gada strādā RTU, ieņemot pētnieces un lektores amatu. Zinātniskās intereses saistītas ar attālinātām mācībām, mācību līdzekļu digitalizāciju un mācību pārvaldības sistēmām.