

Svetlana Jurenoka

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

Promocijas darbs



**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 darbs

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

Rīga 2023

## ANOTĀCIJA

Mūsdienās mācību programmas neskatoties uz tās īstenošanas formām, gan klātienē gan tālmācības neņem vērā izglītojamā individuālās īpašības un vajadzības: zināšanu līmeni, mācīšanās spējas un motivāciju. Izglītības procesa efektivitāti nosaka izglītības un metodisko materiālu izstrādes un pielietošanas tehnoloģija, saskaņā ar kuru izglītojamais apgūst jaunas zināšanas un prasmes atbilstoši viņa spējam un īpašībām. Mācību programmas pielāgošana izglītojamā vajadzībām tiek vadīta no pedagoga puses, nodrošinot sinhronu mācību procesu. Mūsdienās mācību pārvaldības sistēmu trūkums ir saistīts ar iegūto zināšanu novērtēšanas metodi, kas izglītojamā iegūtās kompetences vērtē, balstoties zināšanu validācijas moduļos, kas novērtē rezultātu noteiktajā laika periodā. Mācību procesa īstenošanas laikā mācību viela tiek pasniegta, izmantojot definētu mācību plānu un satura attēlošanas prasības. Noslēguma novērtējumā ir redzams atšķirīgs zināšanu līmenis apgūtajās kompetencēs, tādējādi var secināt, ka mācību procesa plānotie rezultāti netiek sasniegti.

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

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

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

Darba teorētiskajā daļā ir apskatīti galvenie adaptīvas datorizētas mācību pārvaldības sistēmas tehniskie parametri, modeļi un algoritmi, kas ietekmē mācību satura pielāgošanu izglītojamā vajadzībām. Apskatīti esošie adaptīva mācību procesa īstenošanas standarti un to integrācijas iespējas apmācības kontekstā, kā arī esošie adaptīva mācību procesa īstenošanas modeļi un metodes un izdalītas kategorijas, kas ietekmē mācību plāna ģenerēšanas vadlīnijas.

Mācību programmas realizācijas rezultātu novērtējumam promocijas darbā ir izstrādāts mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modelis. Izmantojot izstrādāto modeli, darbā ir piedāvāts mācību plāna ģenerēšanas algoritms, kas ģenerē uz izglītojamā zināšanu līmeni balstītu adaptīvu mācību plānu ar mērķi līdzsvarot izglītojamā zināšanu līmeni visās mācību programmā iekļautajās kompetencēs gala pārbaudes novērtējumā.

Izglītojamā mācību procesa gaitā sasniedzamie rezultāti ir atkarīgi no laika, kas ir veltīts mācību vielas apgūšanai. Balstoties uz zināšanu aizmirstības apjoma noteikšanas modeli, darbā ir identificēta zināšanu līmeņa līdzsvarošanas nepieciešamība, pielāgojot mācību plāna struktūru mācīšanās laikā.

Izmantojot promocijas darbā veikto pētījumu rezultātus, ir apstiprināts, ka mācību plāna dzīves ilgumu ietekmes faktori ir saistīti ar laiku, kas tiek izmantots mācību vielas apgūšanai un izglītojamā esošo zināšanas līmeni mācību procesa īstenošanas laikā kā arī mācību programmas sasniedzamo rezultātu prasībām. Balstoties uz identificēto problēmu, darbā ir piedāvātas adaptīva mācību plāna pārkonfigurēšanas metodes kopējā zināšanu līmeņa līdzsvarošanai mācību procesa noslēgumā.

Darba praktiskajā daļā ir izstrādāts mācību pārvaldības sistēmas vadības modulis, kas nodrošina esošās datorizētas mācību pārvaldības sistēmas satura analīzi un mācību procesa

vadību, ģenerējot katram izglītojamam pielāgotu individuālu mācību plānu. Ir veikti eksperimenti reālās mācību platformās izstrādāto modeļu un metožu praktiskai aprobācijai, kā rezultātā ir noteikti praktiskie ieguvumi, identificētas atšķirības no citām mācību plāna ģenerēšanas metodēm un novērtēti ieviešanas riski.

Darba galvenie rezultāti ir mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modelis un mācību plāna ģenerēšanas modelis, kas gala novērtējumā ļauj līdzsvarot katrā mācību programmā iekļautajā kompetencē iegūto zināšanu līmeni.

Par promocijas darba galvenajiem rezultātiem tika nolasīti 4 referāti 3 starptautiskajās konferencēs, kā arī tie ir atspoguļoti 5 zinātniskajos rakstos.

Darbs sastāv no 4 nodaļām, ievada un secinājumiem. Tajā ir 133 lappuses, 43 attēli un 14 tabulas pamattekstā, 193 nosaukumi literatūras sarakstā.

## ANNOTATION

Nowadays, regardless of the forms of its implementation, both face-to-face and distance learning, educational programs do not take into account the individual characteristics and needs of the student: level of knowledge, learning abilities and motivation. The efficiency of the educational process is determined by the technology for development and application of educational and methodological materials, according to which the student learns new knowledge and skills according to his or her abilities and qualities. The adaptation of the curriculum to the needs of the student is managed by the educator, ensuring a synchronous learning process. Nowadays, the lack of learning management systems is linked to the methodology for evaluating acquired knowledge, which assesses the acquired competencies of the student on the basis of knowledge validation modules, which assess the result within the specified time period. During the implementation of the learning process, the learning material is presented using a defined learning plan and content presentation requirements. The final assessment shows a different level of knowledge in the competences acquired, leading to the conclusion that the expected results of the learning process are not achieved.

The **object of research** is the computerised learning management system.

The **subject of research** is the curriculum generation methods and algorithms of the computerised learning management system.

The **goal of the research** is to study and develop the curriculum generation models and methods that allow balancing the student knowledge level at the end of the study course and increase the curriculum longevity.

In the theoretical part of the work, the main technical parameters, models and algorithms of an adaptive, computer-based learning management system were discussed, which affect the adaptation of the learning content to the needs of the student. The existing standards for implementing an adaptive learning process and their integration capabilities in the context of training, as well as existing models and methods for implementing an adaptive learning process and distinguished categories affecting curriculum generation guidelines, are reviewed.

A model for assessing the life expectancy of the curriculum has been developed for evaluating the results of the implementation of the curriculum in the work of the promotion. Using the developed model, the work offers a curriculum generation algorithm that generates an adaptive curriculum based on the level of knowledge of the student, with the aim of balancing the level of knowledge of the student in all competencies included in the curriculum in the final examination assessment.

In the course of the student learning process, the results achieved depend on the time devoted to learning the learning material. Based on the model for determining the extent of knowledge forgetting, the work identifies the need to balance the level of knowledge by adjusting the structure of the learning plan during learning.

Using the results of the studies performed in the Doctoral Thesis, it has been confirmed that the influence factors of the life expectancy of the curriculum are related to the time used for the acquisition of the learning substance and the level of knowledge present in the student during the implementation of the learning process, as well as the requirements of the results to be

achieved in the learning programme. Based on the identified problem, methods of adaptive learning plan reconfiguration are proposed to balance the overall level of knowledge at the end of the learning process.

In the practical part of the work, a control module of the learning management system has been developed, which provides content analysis of the existing computerized learning management system and management of the learning process, generating an individual learning plan adapted to each learner. Experiments have been conducted for the practical approbation of the models and methods developed in real learning platforms, as a result of which practical benefits have been determined, differences from other methods of curriculum generation have been identified, and implementation risks have been assessed.

The main results of the work are the curriculum life span evaluation model and the curriculum generation model, which in the final evaluation allows balancing the level of knowledge gained in each competence included in the curriculum.

About the main results of the doctoral thesis 3 reports were read at 3 international conferences and they are also reflected in 4 scientific articles.

The work consists of an introduction, 4 chapters, an introduction and conclusions. It has 133 pages, 43 figures and 14 tables in the main text, 193 titles in the bibliography.

# SATURS

IEVADS .....	9
1. Adaptīvas mācību pārvaldības sistēmas esošās situācijas analīze .....	16
1.1. Izmantotu jēdzienu skaidrojums .....	16
1.2. Attālinātu mācību situāciju apkopojums .....	19
1.3. Adaptīvas mācību pārvaldības sistēmas jēdziens .....	20
1.4. Adaptīvas mācību pārvaldības sistēmu pētījumu apskats .....	22
1.5. Adaptīvu mācību pārvaldības sistēmu apkopojums .....	24
1.6. Adaptīvu mācību pārvaldības sistēmu standarti .....	30
1.7. Adaptīva mācību procesa vadības modeļi .....	32
1.8. Mācību pārvaldības sistēmu risinājumi .....	35
1.9. Pirmās nodaļas kopsavilkums .....	40
2. Adaptīva mācību plāna novērtēšanas modeļa izstrāde .....	42
2.1. Izglītojamā zināšanu līmeņa noteikšana .....	43
2.1.1. Uz zināšanu līmeni balstīts kompetenču noteikšanas modelis .....	43
2.1.2. Uz kompetencēm balstīts zināšanu līmeņa noteikšanas modelis .....	47
2.1.3. Zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modelis .....	49
2.2. Izglītojamā digitālo kompetenču noteikšana .....	52
2.2.1. Teksta ievades ātruma noteikšanas metode .....	53
2.2.2. Sistēmas lietošanas apguves laika noteikšanas metode .....	54
2.3. Tehniskā nodrošinājuma ietekmes noteikšanas metode .....	55
2.4. Mācību plāna dzīves ilguma ietekmējošo faktoru analīze .....	58
2.4.1. Mācību plāna īstenošanas laika rādītājs .....	59
2.4.2. Uz informācijas pārraides kavēšanu balstīts rādītājs .....	60
2.4.3. Mācību plāna maiņas laika rādītājs .....	60
2.5. Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modeļa izmantošanas algoritms .....	61
2.6. Mācību plāna ģenerēšanas uzdevumu nostādne .....	64
2.7. Otrās nodaļas kopsavilkums .....	67
3. Adaptīva mācību plāna pārkonfigurēšanas metodes izstrāde .....	68
3.1. Mācību plāna maiņas nepieciešamības pamatojums .....	68
3.2. Adaptīva mācību procesa vadības algoritms .....	69
3.2.1. Izglītojamā modeļa validācija .....	71
3.2.2. Pieejamo mācību moduļu atlase .....	72
3.2.3. Mācību plāna īstenošana .....	73
3.2.4. Izglītojamā zināšanu līmeņa noteikšana .....	74
3.3. Mācību plāna ģenerēšanas algoritmi .....	75
3.3.1. Mācību moduļu kārtošanas algoritms .....	75
3.3.2. Kompetenču kārtošanas algoritms .....	79
3.3.3. Ģenētiskā algoritma izmantošana mācību plāna ģenerēšanai .....	84
3.4. Trešās nodaļas kopsavilkums .....	88
4. Izstrādāto metožu un modeļu eksperimentāla pārbaude .....	89
4.1. Prasības adaptīvas mācību pārvaldības sistēmas vadības modulim .....	89

4.2. Adaptīvas mācību pārvaldības sistēmas fiziskās struktūras tehnisko risinājumu pārskats .....	91
4.2.1. Datubāzes struktūra .....	92
4.2.2. Servera tehniskie parametri .....	94
4.3. Mācību plāna pārkonfigurēšanas modeļu un algoritmu eksperimentāla aprobācija ..	94
4.3.1. Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modeļa aprobācija ar statisko mācību plānu .....	95
4.3.2. Adaptīva mācību plāna ģenerēšanas algoritma aprobācija ar determinētu mācību procesa īstenošanas laiku.....	100
4.3.3. Adaptīva mācību plāna ģenerēšanas algoritma aprobācija zināšanu līmeņu līdzsvarošanai .....	105
4.4. Ceturtās nodaļas kopsavilkums .....	110
Darba kopējie rezultāti, secinājumi un turpmākie pētījumi .....	111
Bibliogrāfiskais saraksts.....	114
PIELIKUMI .....	125



## Saīsinājumu saraksts

ADL	Advanced Distributed Learning initiative
AICC	Aviation Industry Computer Based Training Comitee
AMPS	Adaptīvas mācību pārvaldības sistēma
FP	Funkcionālas prasības
FSLSM	Felder-Silverman mācību stila modeli
IEEE	Institute of Electrical and Electric Engineers
IZL	Izglītojamā zināšanu līmenis
MMAS	Mācību moduļu apguves sistēma
MOODLE	Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment
MPS	Mācību pārvaldības sistēma
MSUPS	Mācību satura uzglabāšanas un pārvaldības sistēma
NFP	Nefunkcionālas prasības
NVA	Nodarbinātības valsts aģentūra
SCORM	Sharable Content Object Reference Model
TAM	Technology acceptance model
VM	Vadības modulis
WCAG	Web Content Accessibility Guidelines

## Apzīmējumu saraksts

$K$	mācību kurss
$R$	mācību plāns
$c$	kompetence
$M$	mācību modulis
$Q$	zināšanu pārbaudes modulis
$M_i [c'Q_i ]$	kompetences zināšanu līmeņa pieaugums
$U[cU_i]$	zināšanu līmenis kompetencē
$KB$	neapgūto mācību moduļu datu kopa
$cK_i$	nepieciešamo kompetenču kopa mācību aktivitātes apgūšanai
$K[c(t)]$	kompetences apgūšanās laiks
$K(t)$	mācību kursa laiks
$K[c_i(min)]$	kompetences nepieciešamais zināšanu minimums
$Kn(t)$	zināšanu aizmiršanas apjoma koeficients
$\Delta Dk_0$	vidējais zināšanu līmenis kompetencē
$Dk_0$	izglītojamā sākotnējais zināšanu līmenis kompetencē
$QT_{text}$	teksta ievades ātruma parametrs
$QT_{user}$	sistēmas lietošanas apguves laika parametrs
$QT_{sys}$	tehniskā nodrošinājuma ietekmes parametrs
$M(t)$	mācību moduļa apgūšanas laiks
$P$	mācību moduļu apgūšanas secība
$K[c_i]$	mācību kursa $i$ -tas kompetences zināšanu līmenis
$K[c]_{max}$	maksimālais sasniedzamais zināšanu līmenis katrā kompetencē
$t_{main}$	bāzes kompetenču apgūšanas laiks
$t_{opd}$	papildu kompetenču apgūšanas laiks
$t_{add}$	izvēles kompetenču apgūšanas laiks
$MP$	komponentu kopa, ko izglītojamais apgūst mācību programmas īstenošanas laikā
$MS$	bāzes kompetenču kopa

## IEVADS

2020. gadā sakarā ar COVID-19 izplatību pasaulē, gan Latvijā, gan citās valstīs 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 redzamu 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 uz izglītojamā īpašībām un mācību procesa apguves ātrumu, 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).

Šodienas mācību saturs, neskatoties uz izglītības formas veidu (klātienē, neklātienē 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 pastāv 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 novērtējumā 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 kategorijās (*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 ir pieaudzis pētījumu skaits, kas ir 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 ir saistīti ar adaptīvas mācību platformas integrācijas iespējām, aizstājot esošo mācību satura pasniegšanas formu ar attālināta mācību procesa nodrošināšanu. Pētījumos ir apskatīti jautājumi, kas ir 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 ir 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 stilius, 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 pielietojumā, izmantojot izglītojamā zināšanu līmeni un mācību plāna apgūšanai paredzēto laiku.

Samērā nesēn (*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 atvēlēta laika palielinājumu, pievienojot zināšanu validācijas procesus.

Rīgas Tehniskajā universitātē pēdējos gados ir pētīti jautājumi, kas ir saistīti ar mācību sistēmu projektēšanu un izstrādi. Pētījumi tika veikti studenta modeļa izstrādē (*Lukašenko, 2012*), studenta emociju atpazīšanā (*Petroviča, 2019*), individualizētā studiju plānošanā (*Rollande, 2015*). Ir veikti pētījumi, kas ir 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 pielietojumā 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 aizmiršanas 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**

Promocijas darbā ir izvirzīti šādi uzdevumi:

1. Analizēt adaptīvā mācību procesa īstenošanas modeļus un metodes.
2. Izstrādāt izglītojamā zināšanu līmeņa noteikšanas modeļus.

3. Noteikt mācību moduļa faktoros, kas nosaka mācību satura pasniegšanas ierobežojumus, un prasības to iekļaušanai mācību plānā.
4. Izstrādāt mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modeli.
5. Izstrādāt mācību plāna ģenerēšanas algoritmus, kas ļauj līdzsvarot izglītojamā zināšanu līmeni katrai mācību kursā apskatāmajai kompetencei.
6. 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 specifikācijas, 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 satura 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.

**Ceturtnā nodaļā** “Izstrādāto metožu un modeļu eksperimentāla pārbaude” velīta 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

Pirmajā nodaļā sniegti ar adaptīvu mācību pārvaldības sistēmu (AMPS) saistītu jēdzienu skaidrojumi. Nodaļā sniegts AMPS pašreizējās situācijas apkopojums, apskatīta to arhitektūra, aprakstīti esošie datorizētu mācību praktisko pielietojumu piemēri. Detalizēti ir apskatīti esošie AMPS modeļi un standarti, to pielietojuma veidi un tehniskās specifikācijas; izcelti faktori, kas ietekmē AMPS mācību plāna ģenerēšanas un mācību rezultāta sasniegšanas kvalitāti.

Pamatojoties uz (*Deborah* u. c., 2021), AMPS nodrošina katrai lietotāju grupai pielāgotu mācību procesa vadību, izmantojot automātiskā režīmā definētu mācību saturu. Nodaļā ir sniegts ieskats, kas ir saistīts ar AMPS integrēšanas iespējām esošajās datorizētajās mācību platformās.

Detalizēti ir apskatītas mācību plāna ģenerēšanas un mācību procesa realizācijas vadlīnijas, balstoties uz satura reprezentācijas modeļiem.

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 ir apskatītas izglītojamā modeļa veidošanas metodes.

Ir apskatīta izglītojama modeļa zināšanu bāzes ietekme uz mācību satura reprezentācijas modeļiem un mācību plāna ģenerēšanas metodēm.

Nodaļas noslēgumā, izmantojot mācību pārvaldības sistēmu salīdzinājumu un promocijas darbā veikto pētījumu, ir izdalīti kritēriji. Tika veikts datorizētas mācību pārvaldības sistēmas novērtējums adaptīvā mācību procesa nodrošināšanai.

## 1.1. Izmantotu jēdzienu skaidrojums

### *Mācību programmas jēdziens*

Veidojot izglītības programmu sākumā svarīgi ir izprast nevis kā prasmīgāk plānot vai efektīvāk mācīt, bet gan kādai ir jābūt izglītības programmai. Nav lietderīgi efektīvi paveikt to, ko vispār nebija vērts darīt (*Pratt*, 1994). 1861. gadā angļu filozofs Herberts Spensers publicēja eseju “Kādām zināšanām ir vislielākā vērtība?”, kurā viens no pirmajiem atzina, ka ierobežotā laika un finanšu resursu dēļ ir jāatrod kāds atskaites punkts, kas ļautu izlemt, kuras no dažādām iespējamām zināšanām ir vajadzīgas visvairāk (*Pratt*, 1994). Laika posmā no 1990. līdz 2015. gadam ir relatīvi mazs pētījumu skaits par mācību satura izstrādi un pilnveidošanu. 1990. gadā *Eisner* (*Eisner*) savā grāmatā apraksta problēmu, kas ir saistīta ar mācību programmas novecošanas tendencēm (*Eisner*, 1990). Balstoties uz vispārēja Latvijas izglītības mācību programmu satura salīdzinājumu (*VISC*, 2016; *VISC*, 2020), var secināt, ka līdz 2016. gadam izglītības programmas saturiskā daļa tika mainīta, pamatojoties uz tās izvēršanu plašumā. Tas nozīmē, ka, tiklīdz parādās nepieciešamība pēc jaunām zināšanām vai prasmēm, izglītības iestādes tās iekļauj savās mācību programmās. Tādējādi parādās jauni priekšmeti vai jaunas tēmas esošajos mācību priekšmetos.

Pašlaik pedagoģijas literatūrā pastāv pretrunas mācību plānu un mācību programmas terminu skaidrojumā Latvijas dokumentos. Zinātniskajos pētījumos bieži tiek izmantots vārds

*curriculum* (no latīņu valodas *currere* – “skriet”), kas nozīmē gan izglītības programmu, gan mācību priekšmeta programmu, gan mācību plānu (*Beļickis* u. c., 2000). Angliski runājošajās valstīs vārdu *curriculum* definē kā visu skolēnu darbošanos skolas vadībā. (*Kearney* un *Cook*, 1961). Neskatoties uz to, ka Latvijā *curriculum* jēdziens kļuva populārs, nodrošinot pedagoģijas pārorientēšanu uz Rietumu pedagoģijas standartu (*Žogla*, 2001), pašlaik valstī nav vienota termina skaidrojuma.

Balstoties uz OECD ikgadējo publikāciju *Education Policy Outlook* (OECD, 2020), var secināt, ka vēl joprojām Latvijā termins *curriculum* netiek standartizēts, kas rada šķēršļus ar mācību programmu saistīto jautājumu izpratnē. Pēdējā laikā terminu *curriculum* izprot kā mācību programmu vai mācību plānu, ar ko tiek raksturots kursa saturs un apguves secība (*Žogla*, 2001). Latvijā jautājumus, kas ir saistīti ar izglītības iegūšanu, kā arī katra iedzīvotāja garīgā un fiziskā potenciāla attīstību, reglamentē izglītības likums (*likumi.lv*, 2022a). Likuma 1. pantā ir doti terminu skaidrojumi, kas ir izmantoti promocijas darbā. Neskatoties uz to, ka izglītības sistēmu reģistrā (*IZM*, 2020) tiek izmantots vārdu salikums ‘mācību plāns’, izglītības likumā šis termins netiek aprakstīts. Var secināt, ka atšķirībā no angļu valodas termina *curriculum* nozīmes Latvijā šī termina nozīme nav saistīta ar mācību vides nodrošināšanu un mācīšanās procesa uzraudzību.

Promocijas darbā, pamatojoties uz atšķirīgo termina skaidrojumu dažādās valodās, ir izvēlēta Latvijas pieeja termina lietojumam (*Žogla*, 2006), t.i. *curriculum* raksturošanai tiks lietots termins ‘mācību programma’, kas visprecīzāk atbilst darbā izvēlētajai pieejai.

### ***Kompetences jēdziens***

Balstoties uz projekta *Skola 2030* sniegto informāciju, mācību programmas uzdevums ir radīt pilnveidotu saturu ar mērķi padarīt mācības aktuālas, novērst satura sadrumstalotību, dubultošanos un informatīvu pārblīvību, nodrošināt mācību satura pēctecību, veicināt kopsakarību izpratni un spēju zināšanas pielietot (*Skola2030*, 2018).

Mācību programmas apgūšana balstās uz sasniedzamā rezultāta, kas tiek noteikts ar kompetenču kopu, ko izglītojamaiss apgūst mācību procesa īstenošanas laikā.

Šodien pastāv atšķirīgas pieejas kompetenču raksturošanai. Pedagoģiskajā literatūrā minētas vairākas jēdziena ‘kompetence’ definīcijas: prasmes, kvalifikācija, spējas un analītiska kategorija (*Profizgl*, 2022; *Maslo* un *Tiļļa*, 2005). 2005. gadā vārds ‘kompetence’ tika ieviests ar mācību procesu saistītajos dokumentos, aizvietojojt vārdu ‘prasmes’. I. Tiļļa šo pieeju raksturo šādi: „Kompetences ir prasmes, kas ir jāsasniedz, beidzot kādu mācību posmu, kā mērķis un gala rezultāts vienlaikus ir objektīvi mērāms un pārbaudāms. Šai pieejai ir raksturīgs mēģinājums nomainīt tradicionāli lietoto jēdzienu ‘prasme’ pret jaunāku un modernāku ‘kompetence’, tādējādi radot ilūziju par kaut ko jaunu” (*Maslo* un *Tiļļa*, 2005). Pedagoģijas terminu skaidrojošajā vārdnīcā vārds ‘kompetence’ tiek skaidrots kā nepieciešamas zināšanas, kādas noteiktas jomas izpratne, prasme zināšanas un pieredzi izmantot konkrētā darbībā (*Beļickis* u. c., 2000; *Skujiņa* u. c., 2011).

Termins ‘prasmes’ tiek skaidrots kā zināšanu apguves kvalitāte, kas ļauj cilvēkam apzināti lietot iegūtās zināšanas pēc parauga vai pielāgot kādai konkrētai situācijai (*Žogla*, 2001). Prasmes ir teorētiskās un praktiskās zināšanās, kas nosaka cilvēka darbības produktivitāti un

efektivitāti, veicot noteiktu uzdevumu.

Pamatojoties uz pedagoģijas terminu vārdnīcu, zināšanas ir “sistematizēts atziņu kopums, ko cilvēks ieguvis mācoties, darba pieredzē, pētniecībā; izziņas rezultāts; reālās pasaules lietu, parādību, procesu atspoguļojums jēdzienos, kas veido pārlicības, pieņēmumu, zinātniskas teorijas konkrēto saturu” (*Beļickis u. c., 2000*).

Promocijas darbā kompetences jēdziens apzīmē mācību procesā iegūtās zināšanas, kas dod spēju un iespējas noteiktu uzdevumu izpildei un tiek nodrošināta ar darbības kvalitātes un pieredzes kopu (*Maslo un Tiļļa, 2005; Kataļņikova u. c., 2018; VISCS, 2022*). 21. gadsimtā termins ‘kompetence’ ir ieņēmis nozīmīgu lomu izglītības kontekstā, kas pēdējos gados mainījis mācību programmas apraksta kārtību, pievienojot jaunu parametru, kurš apraksta kompetenču kopu, kas tiks sasniegta mācību programmas apgūšanas rezultātā.

### ***Mācību programmas elementi***

Mācību programmu raksturo tās saturs, kas tiek pasniegts saskaņā ar mācību plānu (*Eisner, 1979*). Īstenojot mācību programmu mācību procesu var iedalīt 3 daļās: teorija, praktiskā nodarbība, zināšanu pārbaude (*pedagogs.lv, 2020*). Teorētiskās un praktiskās mācības tiek realizētas, izmantojot apskatāmai tēmai izstrādātu mācību līdzekli (*Gudjons, 2007*). Pedagoģis nodrošina mācību programmas realizāciju, izmantojot mācību līdzekļa sniegtās iespējas.

Promocijas darbā tiek izmantoti šādi pedagoģijas termini:

Mācību process - mērķtiecīgi organizētas mācīšanas un mācīšanās tiešā norise kā pedagoģiskā procesa sastāvdaļa, kura noris ciešā skolotāja un skolēna mijiedarbībā, jaunai informācijai papildinot zināšanas, tiek attīstītas jaunas prasmes un iemaņas, nostiprinātas iepriekš apgūtās zināšanas, prasmes un iemaņas. Tas ir izziņas, saskarsmes un personības attīstības process. Mācību process var risināties arī ārpus pedagoģiskā procesa ietvariem, ja izglītība tiek apgūta patstāvīgi, bez skolotāja klātbūtnes (*Beļickis u. c., 2000*).

Mācību programmas saturs – noteiktai zinātnes, tehnikas jomai atbilstošs sniedzamās informācijas, apgūstamo zināšanu, attīstāmo prasmju apjoms, ievērojot mācību iestādes darbības mērķi un uzdevumus (*Beļickis u. c., 2000*).

Mācību viela - tematiski sistematizēta, mācību līdzeklī ietverta ziņu, datu kopa, ko attiecīgā vecumposma izglītojamiem paredzēts apgūt konkrētā laika periodā mācību priekšmeta vai studiju kursa ietvaros un ko izmanto, lai veidotu zināšanas, prasmes un attieksmes, rosinātu izziņas interesi un sekmētu izglītojamā personības attīstību (*Beļickis u. c., 2000*).

Mācību plāns – dokuments, kurā atspoguļots mācību saturs, konkrētu mācību nodarbības satura apguvei paredzēto stundu skaits (sākums, ilgums, noslēgums) un to sadalījums noteiktā laika posmā (*Beļickis u. c., 2000; pedagogs.lv, 2020*).

Mācību modulis - mācību vielas minimāli iespējamais apjoms, kas nodrošina kādas konkrētas tēmas apskatu mācību programmas kontekstā. Tas var saturēt arī zināšanu pārbaudes. Par mācību moduļa saturu un to pasniegšanas formu ir atbildīgs pedagoģis. Datorizēta mācību pārvaldības sistēma moduļa attēlošanai var izmantot vienu no mācību satura pasniegšanas formām (teksts, video, audio, kā arī dažādu interaktīvo darbību kopu) (*Refaay u. c., 2017*).

Vērtēšana ir neatņemama mācību procesa daļa. Saskaņā ar pilnveidoto pamatizglītības standartu būtiski palielinās formatīvās vērtēšanas jeb vērtēšanas, lai uzlabotu mācīšanās

ikdienā. Ir uzsvērtā diagnosticējošo pārbaudes darbu loma kā būtisks atbalsts skolotājiem, lai plānotu savu ikdienas darbu mācību gada sākumā (*Skola2030*, 2022b).

Mācību metode – pedagoga un izglītojamā savstarpējās sadarbības paņēmieni kopums, kas nodrošina mācību, audzināšanas un attīstības uzdevumu izpildi mācību procesā izglītības mērķu sasniegšanai (*Refaay u. c.*, 2017; *pedagogs.lv*, 2020).

Mācību līdzeklis – izglītības programmas apgūšanai nepieciešamā didaktiski pamatotā literatūra, mācību uzskates līdzekļi, tehniskie mācību līdzekļi, informācijas tehnoloģijas, mācību materiāli un iekārtas, ko izmanto informācijas ieguvei, izpratnes veidošanai, patstāvīgā darba organizēšanai (*pedagogs.lv*, 2022).

## 1.2. Attālinātu mācību situāciju apkopojums

Izglītības sistēmā pēdējo trīs gadu laikā ir notikusi aktīva pāreja uz sistēmām, kas atbalsta mācību procesa īstenošanu attālinātā režīmā. Izglītības iestādes palielināja digitālā mācību materiāla izmantošanas skaitu mācību procesa īstenošanas laikā (*IJM*, 2021). Palielinoties digitālā materiāla skaitam, parādījās nepieciešamība ieviest digitālo mācību materiālu pārvaldības platformu, kas nodrošina vienotu piekļuvi ar lietotāja sadales tiesībām un mācību satura pasniegšanas/veidošanas atbalstu mācību procesa īstenošanai. Mācību procesa īstenošanu ar tīmekļa platformu starpniecību sadala divās pamatkategorijās, balstoties uz informācijas sagatavošanu servera pusē:

- statiskā informācija – informācija, kas ir attēlota, pamatojoties uz iepriekš sagatavotu mācību plānu, kurš tiek izmantots izglītības standartā noteikto minimālo prasību izpildei, un ir atkarīga no izglītības iestādes iespējām nodrošināt attālinātu vai neklātienē mācību procesu;
- dinamiskā informācija – informācija, kas ir attēlota, balstoties uz kursam definētajām prasībām, kuras tiek izmantotas lietotājam pielāgotā izglītības standartā noteikto prasību izpildei, un ir atkarīga no izglītības iestādes tehniskā nodrošinājuma un mācītbspēka spējām sagatavot atbilstošu fragmentēto mācību saturu.

Šodien digitālu mācību satura materiālu ieviešanu Latvijas izglītības iestādēs kavē tehnisko resursu trūkums, nepietiekama mācītbspēku sagatavotība, noslodze un mācību procesa reglamentējošo dokumentu nepietiekams atbalsts attālinātajai mācību formai.

Pamatojoties uz projekta *digima.lv* pētījumu, no 655 Latvijas vispārējās izglītības iestādēm 2021./2022. mācību gadā attālinātu mācību platformas izglītības programmas īstenošanai izmantoja 27% no izglītības iestādēm – lielākoties valsts ģimnāzijas un vidusskolas.

Pamatojoties uz Latvijas Republikas Ministru kabineta 2022. gada 8. februāra Nr. 111. izstrādātiem mācību procesa īstenošanas noteikumiem “Attālināto mācību organizēšanas un īstenošanas kārtība” (*Likumi.lv*, 2022b), noteiktā attālināto mācību satura pasniegšanas forma tiek pielīdzināta klātienē mācībām un tā var veidot līdz 50% no kopējā mācību plāna atšķirībā no īstenotās programmas specifikas.

Mūsdienu tehnoloģiju straujas attīstības dēļ parādās jauna izglītojamo paaudze, kas jaunu zināšanu apguvei izmanto tikai elektroniskos resursus (*Young u. c.*, 2013). Neskatoties uz to, ka pašlaik sistēmas var nodrošināt pilnu izglītošanas procesu, izmantojot iepriekš aprakstīto

informācijas pasniegšanas veidu, ne vienmēr tas ir pieņemams visām izglītojamo grupām. Digitalizēto mācību rezultāti ir atkarīgi no lietotāja digitālo kompetenču pārvaldes spējām, kas nosaka informācijas apgūšanas ātrumu un digitālo resursu izmantošanas efektivitāti (*Link un Marz, 2006*).

Tiešsaistes izglītības sistēmas var iedalīt trīs nosacītās grupās: mācību pārvaldības sistēma (*Learning managements system*), sinhronā sadarbība (*Synchronous collaboration*) un citas sistēmas, tostarp asinhronā sadarbība. Darbojoties ar mācību pārvaldības sistēmām, lietotājam pašam ir jāizvēlas mācību modulis un jāpielāgojas mācību kursa metodikai.

Mūsdienu mācību tehnoloģijas ieņem lielu tirgus daļu. Pēdējā laikā Latvijā liela daļa pieaugušo cilvēku apmācība ir transformēta e-vidē. Covid-19 ietekmes dēļ e-apmācība kā apmācības pamatveids tika nodrošināta gan neformālās izglītības sektorā, gan profesionālās pilnveidesursos.

Sākot ar 2020. gadu, Nodarbinātības valsts aģentūrai (NVA) bija nepieciešams Covid-19 laikā nodrošināt darba meklētājiem nepārtrauktu pārkvalifikācijas vai kvalifikācijas paaugstināšanas kursu apmācību. NVA ir izstrādājusi vadlīnijas savas atbalstāmās apmācības programmas transformācijai e-apmācības formātā (*NVA, 2020b*). 2016. gadā Igaunijā un 2020. gadā Latvijā autonoma e-apmācība tika atļauta, autovadītājuursos apgūstot “B” un “C” kategorijas kursa apmācības, nodrošinot teorijas kursa apguvi elastīgā apmācības formā (*NVA, 2020a*).

Covid-19 dēļ ieviestie ierobežojumi palielināja attālinātu saziņas līdzekļu attīstības ātrumu, un pašlaik attālināta saziņa un mācību forma daudzās valstīs ir pielīdzināma klātienē mācībām. Nodrošinot parēju uz tiešsaistes mācību platformām, arvien lielāku popularitāti iegūst adaptīvas mācību tehnoloģijas, kas ir paredzētas mācību procesa un satura pielāgošanai apmācāmā individuālajām vajadzībām.

### 1.3. Adaptīvas mācību pārvaldības sistēmas jēdziens

Adaptīvs mācību process (*adaptive learning*) – ir individuālas mācīšanās trajektorijas veidošana izglītojamam, ņemot vērā viņa pašreizējās zināšanas, spējas, motivāciju un citas īpašības (*Grubisic u. c., 2015; Anohina, 2007*).

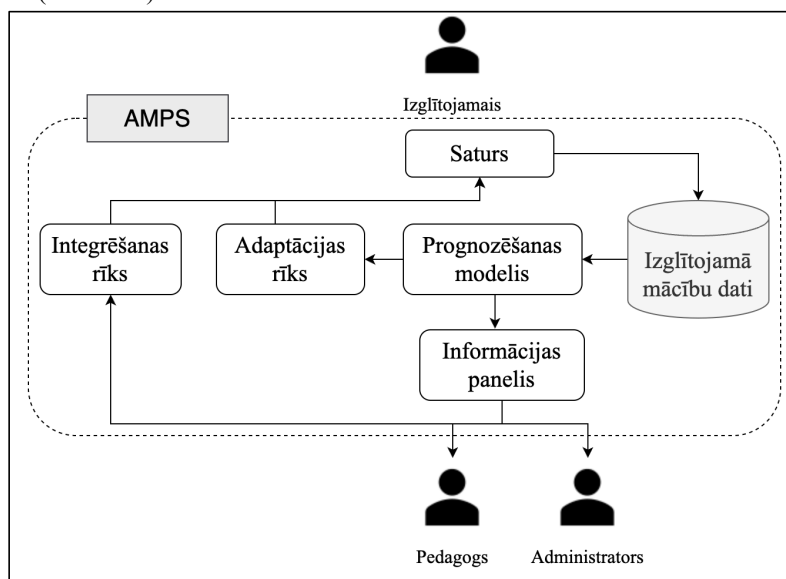
Latvijā mācību pārvaldības sistēmas darbību reglamentē Ministru kabineta noteikumi Nr. 706 (*likumi.lv, 2021*). Adaptīvā mācību pārvaldības sistēma (AMPS) ir sistēma, kas spēj mainīt savu darbību, lai nodrošinātu mācību saturu un mācību procesa īstenošanas metodi katram izglītojamam atbilstoši individuālajai informācijai par viņu un īpašībām (*Brusilovsky un Millan, 2007; Jurenoka u. c., 2018; Trikha un Godbole, 2016*), piemēram, zināšanām, mērķim, pieredzei, interesēm, izglītības līmenim, sekmju vēsturei u.c.

Adaptīvās mācību sistēmas tika minētas jau 1989. gadā (*Bruha, 1989; Zames un Wang, 1990*), un no tā laika sistēmu pamatuzdevums nav mainījies. Adaptīvas sistēmas uzdevums ir vadīt un kontrolēt katram lietotājam pielāgotu mācību procesu, balstoties uz izglītojamā īpašībām un mācību procesa apguves tempu, nodrošinot uz lietotāju centrētu, atbalstītu un uzlabotu mācīšanos (*Grubisic u. c., 2015*). Adaptīvās izglītības sistēmas mērķis ir radīt elastīgu vidi, kas atbalsta mācību procesa nodrošināšanu, ņemot vērā katra izglītojamā spējas, vajadzības, intereses, ierobežojumus un citus faktorus (*Anohina, 2007; Jurenoka u. c., 2018;*

*Trikha un Godbole, 2016*). Tas uzdevums ir katra izglītojamā īpašību precīza identificēšana, izmantojot no izglītojamā mācību procesa īstenošanas laikā iegūtus datus, piemēram, esošo zināšanu līmeni, spēju apgūt jaunu vielu, informācijas apguves ātrumu, personības īpatnības, afekta stāvokļa noteikšanu un citus aspektus, kas ļauj izmantot iegūto informāciju, lai uzlabotu izglītojamā mācīšanās līmeni (*Kovalev u. c., 2002*). Attīstoties informācijas tehnoloģijām, lietotāja informācijas apstrāde un mācīšanas vadība tika nodota datorizētajiem algoritmiem, kas ļauj nodrošināt mācību procesa pielāgošanu reālā laikā.

AMPS reālā laikā, apkopo ienākošās zināšanas, prasmes un iemaņas, kas ir unikālas katram lietotājam. Lietotājam tiek definēts sākotnējais stāvoklis, kas nosaka ieejas satura atlasē nosacījumus. Balstoties uz satura apguves posmiem, sistēma uzglabā informāciju par lietotāja zināšanu līmeni, kas tiek izmantota mācību plāna ģenerēšanas modeļos. Mācību vielas izvēle balstās uz nepieciešamo obligātā satura apguves apjomu un izglītojamā zināšanu līmeni. Satura pasniegšanas daudzumu un informācijas apjomu nosaka arī citi mācību procesu ietekmējoši faktori, piemēram, kursa apguves laiks, obligātās informācijas apjoms, izvēlēta kursa ierobežojumi utt.

AMPS sastāv no 5 pamatkomponentiem, kas nodrošina satura pielāgošanu lietotāja vajadzībām (1.1. attēls).

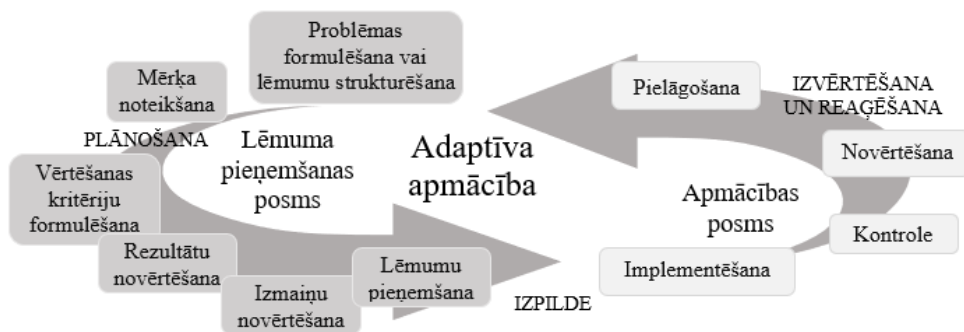


1.1. att. Adaptīvas mācību pārvaldības sistēmas komponentu mijiedarbība.

Izglītojamais nodrošina divpusēju sadarbību ar satura moduli, saņemot mācību procesam nepieciešamo informāciju un, pildot sistēmas prasītos uzdevumus sniedz atgriezenisko saiti. Ņemot vērā datus, kas saņemti no sistēmas, tiek apkopota informācija par izglītojamo, kas raksturo mācību procesa īstenošanas kvalitāti. Ņemot vērā izglītojamā datus, sistēma izvēlas noteiktu mācību scenāriju, kas tiek nosūtīts gan kursa administratoram, gan pedagogam. Nodrošinot daļēji automatizētu mācību procesa vadību, administrators var ieviest korekcijas aktuālajā mācību scenārijā. Gadījumā, ja tiek izmantots automatizēts mācību procesa vadības

algoritms, prognozēšanas modelis nosūta informāciju adaptācijas rīkam mācību moduļu atļasei un to turpmākai vizualizācijai saskaņā ar izstrādāto mācību scenāriju.

Mūsdienu AMPS nodrošina arī tai skaitā pieejamības taisnīguma politiku (*Jamuna un Ashok, 2009*), kas, piemēram, izglītojamiem ar veselības traucējumiem, ievērojot informācijas apgūšanas ātrumu ietekmējošus faktorus, nodrošina informācijas pasniegšanu atbilstošā apjomā un tempā.



1.2. att. Adaptīva mācību procesa dzīves cikls (*Murray un Chapman, 2003*).

Mācību process ir ciklisks, kas ietver sevī plānošanu, izpildi un rezultātu izvērtēšanu un, ja ir nepieciešams, tad arī izmaiņas nākamā ciklā plānojumā (*pedagogs.lv, 2022*). Adaptīvu mācību procesu var attēlot kā nepārtrauktu dzīves ciklu, kas iedalīts divās daļās: lēmuma pieņemšanas posms un apmācības posms (1.2. attēls). Plānošanā tiek noteiktas mācību vajadzības, mērķa izvirzīšana, vērtēšanas kritēriju formulēšana. Balstoties uz izglītojamā zināšanu līmeni, tiek definēts jauns informācijas saturs, kas ietver sevī jaunas zināšanu apguves tēmas. Mācību mērķu īstenošanas laikā, jeb informācijas apgūšanas laikā izglītojamais iziet apmācības ciklu, kas noslēdzas ar izglītojamā zināšanu līmeņa validāciju un veicina jauna mācību plāna ģenerēšanu.

#### 1.4. Adaptīvas mācību pārvaldības sistēmu pētījumu apskats

Pētījumi, kas ir saistīti ar AMPS izstrādi, tika uzsākti 20. gadsimta beigās. Tika noskaidrots, ka katram izglītojamam ir savs zināšanu uztveres ātrums un informācijas apgūšanas temps, kas ir atkarīgs no izglītojamā zināšanu līmeņa un ārējiem faktoriem (*Wang, 1983*). Adaptīvas mācību ietvaros ir iespējas izveidot katram lietotājam pielāgotu mācību scenāriju, ievērojot izglītojamā individuālās īpašības. Darbos (*Santos u. c., 2003; Vaca u. c., 2012; Jurenoka un Jurenoks, 2018*) ir pamatots, ka adaptīvu mācību galvenais uzdevums ir palielināt izglītojamo zināšanu līmeni, pēc iespējas vairāk pietuvinot interaktīvo mācību procesu klātienēs nodarbībai. Balstoties uz (*Oxman un Wong, 2014*) pētījuma rezultātiem, var secināt, ka adaptīvas mācību galvenā atšķirība no klātienēs nodarbībām ir mācību procesa automatizācijas iespēja, pamatojoties uz izglītojamā zināšanu līmeni.

Pirmie pētījumi, kas ir saistīti ar mācību procesa diferencēšanu un tā pielāgošanu katram izglītojamam, ir sastopami 1. gadsimtā pirms mūsu ēras ebreju un grieķu rakstos (*Natriello, 2017*). Individuāls, katram izglītojamam pielāgots mācību process bija vienīgais zināšanu

pasniegšanas veids. Savukārt 17. gadsimtā pedagoģijā tika piedāvāta klašu mācību sistēma, kas arī šodien ir izglītības sistēmas pamats (*Kostolanyova u. c., 2011*). 1958. gadā Skinera (*B. F. Skinner*) pētījumos parādījās termins “programmēta apmācība”, kas nodrošina patstāvīgu mācību programmas apgūšanu, izmantojot iepriekš izstrādātu mācību metodiku un sagatavotus mācību materiālus, kur mācīšana tiek organizēta mazos soļos ar tūlītēju atbildes apstiprināšanu. Izglītojamais saņem informāciju no mācību grāmatām (*Skinner, 1958*). Šajā procesā reproducēšana, kas ir viens no zināšanu apguves elementiem un tiek lietots kā metodisks paņēmieni, lai noteiktu iegaumēšanas un atcerēšanās kvalitāti, gandrīz netiek kontrolēts un regulēts. Programmētas mācību pārvaldības sistēmas uzdevums ir nodrošināt mācību procesa vadību, izmantojot iepriekš sagatavotu programmatūru, kas lieto soļu secību, no kuriem katrs ir zināšanu vai prasmju vienības apguves process, kas sastāv no trim daļām:

- loģiski pabeigtas noteikta apjoma izglītojošas informācijas prezentācija, vingrinājumi un uzdevumi – darbs ar informāciju un tās asimilācija;
- kontroles uzdevumi (atgriezeniskā saite);
- norādījumi atkārtot vingrinājumus vai pāriet uz nākamo soli.

Skinera pētījumi ir devuši lielu ieguldījumu tehnisko ierīču integrācijai mācību procesā. 20. gadsimta 80. gados parādījās pirmās pilnvērtīgās mācību pārvaldības sistēmas un palielinājās to pētījumu skaits, kas ir saistīti ar datorizētu mācību pārvaldības sistēmu izstrādi un to integrāciju esošajās datorsistēmās.

Diemžēl tehnisko ierobežojumu dēļ mācību pārvaldības sistēmas (MPS) veica tikai lineāro vai uz notikumiem balstīto statiskā satura pielāgošanu apmācāmā vajadzībām, izmantojot programmas kodā iekļauto mācību plānu (*Angelo, 1985*).

20. gadsimta 90. gados palielinājās informācijas tehnoloģijas attīstības tempi, kas veicināja to pētījumu palielināšanos, kuri ir saistīti ar satura pielāgošanas iespējām mācību pārvaldības sistēmās. Attīstoties tīmekļa tehnoloģijām un palielinoties mājas apstākļos izmantoto datorsistēmu jaudai, 21. gadsimta sākumā palielinājās pētījumu skaits, kas ir saistīti ar adaptīvu un intelektuālu tīmekli balstītu mācību pārvaldības sistēmu izstrādi, kuru pamatā ir izglītojamā modeļa izveide (*Brusilovsky un Peylo, 2003; Hatzilygeroudis u. c., 2005; Wen un Yang, 2005*).

Mūsdienās pētījumi par adaptīvajām mācībām galvenokārt ir saistīti ar satura veidošanu un reprezentēšanu:

- pētījumi, kas ir saistīti ar automatizētām, uz izglītojamā zināšanu līmeni balstītām satura meklēšanas metodēm, informācijas reprezentācijas secības ģenerēšanu, kura ņem vērā izglītojamā izvirzītus mācību mērķus un zināšanu līmeņus (*Santoso u. c., 2014; Šumak u. c., 2019*);

- pētījumi, kas ir saistīti ar mācību resursu automatizētu ģenerēšanu, pamatojoties uz izglītojamā zināšanu līmeni un tā psiholoģiskajām īpašībām (*Kardan un Noorbebhahani, 2009; Sarkar un Huber, 2021*);

- pētījumi, kas ir saistīti ar izglītojamā modeļa izstrādi un zināšanu pasniegšanas secības ģenerēšanu, ņemot vērā izglītojamā esošo zināšanu līmeni un jaunu zināšanu apgūšanas tempu (*Brut u. c., 2009; Nguyen, 2014*).

Mūsdienās AMPS galvenokārt izmanto uz izglītojamā balstītus modeļus, piemēram, dpc.lv mācību platforma, kas nodrošina kursa satura pielāgošanu katra izglītojamā zināšanu līmenim.



Katrs mācību kurss, kas ir integrēts sistēmā, sastāv no katrai apskatāmajai nodarbībai nepieciešamā komponentu skaita (moduļiem), kuri ir sadalīti īsās 5–10 minūšu videolekcijās. Apskatāmie moduļi ir papildināti ar metrikām, kas nosaka moduļa atbilstību izglītojamā zināšanu līmenim. Mācību procesa laikā tēmas izvēle un tās apjoms tiek pielāgots izglītojamā zināšanu līmenim, kas ļauj izvēlēties atbilstošu mācību tempu, ievērojot mācību procesam atvēlēto laiku.

Pašlaik tiek uzskatīts, ka reālā laikā izglītojamā zināšanu līmeņa uzraudzība un mācību scenārija pielāgošana, pamatojoties uz aktuālo zināšanas līmeni, ir katras adaptīvās sistēmas neatņemama sastāvdaļa (Zhang u. c., 2020). Daži darbi (Anil un Salman, 2019; Klett un Pharow, 2006; Jurenoka un Jurenoks, 2018) ir veltīti pētījumiem, kas ir saistīti ar apmācības scenārija individualizāciju, izmantojot jau iepriekš sagatavotu mācību kursu. Piemēram, tiešsaistes teorētiskās apmācības platformā macam.lv ir izmantots modelis, kas nodrošina apmācības kursa apguvi transportlīdzekļu “B” un “C” kategorijas vadītāja apliecības iegūšanai, diferencējot saturu atbilstoši izglītojamā zināšanu līmenim. Mācību platforma pielāgo tēmu secību katra izglītojamā zināšanu līmenim, pamatojoties uz datiem, kas ir iegūti no testa izpildes rezultātiem.

2017. gadā Latvijā tika piedāvāts risinājums adaptīva mācību procesa ieviešanai, tā īstenošanai izmantojot Moodle mācību pārvaldības sistēmā (Jurenoks, 2017). Rakstā tika definēti kritēriji, kas ir nepieciešami izglītojamo zināšanu līmeņa adaptīvai validācijai pirms mācību kursa uzsākšanas. Pamatojoties uz veikto pētījumu, autors izmanto Deikstras algoritmu zināšanu testa jautājumu ģenerēšanai, kas ļauj pārbaudīt plašas izglītojamā zināšanu jomas, izmantojot iespējamo uzdoto jautājumu skaita ierobežojumu testa sistēmās.

Šodienas mācību pārvaldības sistēmas mācību programmas īstenošanas laikā izmanto modeli, kas nodrošina nākamā mācību moduļa izvēli no esošās mācību programmas, pamatojoties uz iepriekš veiktajām darbībām mācību procesa īstenošanas laikā.

Tādējādi var secināt, ka pašlaik nepastāv vienoti risinājumi, kas nodrošina mācību plāna ģenerēšanu, kurš ļauj pielāgot mācību programmu katram izglītojamā zināšanu līmenim.

## 1.5. Adaptīvu mācību pārvaldības sistēmu apkopojums

Mūsdienās adaptīvo mācību procesu var nodrošināt gan pedagogs, kurš pielāgo mācību procesu, darbojoties klasē vai vadot individuālas nodarbības, gan datorsistēmas, kas izstrādā izglītojamam paredzētu mācību plānu.

Adaptīva mācību pārvaldības sistēmas (AMPS) nodrošina mācību procesu, izmantojot tiešsaistes sistēmas (virtuālo vidi). Tiešsaistes mācības (e-mācības) tika ieviestas pagājušajā gadsimta 90. gados (Bates, 2005; Stokes, 1999), savienojot tīmekļa tehnoloģijas ar tālmācības programmām. Sākumā AMPS tika izmantotas galvenokārt augstākajā izglītībā un to funkcionalitāte nodrošināja elementāras saziņas iespējas, izmantojot tērēšanas platformas un izzvanpieejas funkcionalitātes piekļuvi failu serveriem, kas nodrošināja attālinātu mācību materiālu studentiem un atgriezenisko saiti ar pasniedzēju un citiem studentiem tiešsaistē. Failu serveros vai tīmekļa platformās statistiski izvietotie mācību materiāli deva iespēju apgūt mācību vielu, izmantojot katram studentam pielāgotu tempu.

Mūsdienās AMPS funkcionalitāti papildina mācīšanās procesa pārvaldības uzdevumi (*Learning Management tasks*), kas nodrošina mācību procesa uzturēšanu un satura

reprezentācijas automatizāciju. Tādejādi, mācību pārvaldības sistēmas dod iespēju lietot autonomu virtuālo mācību vidi, nodrošinot piekļuvi izmantojot HTTP/HTTPS protokolus. Lielākā daļa no pašlaik pastāvošajām sistēmām satur lietotāja lomu sadalījumu, kas ļauj integrēt mācību kursa veidošanas un rediģēšanas funkcionalitāti. AMPS galvenā loma ir nodrošināt vienotu telpu gan mācību satura autoriem, gan izglītojamiem un tās uzdevumi ir (Urdze, 2021):

- pielāgot mācību procesu izglītojamiem ar atšķirīgām vajadzībām;
- padarīt mācību procesu elastīgāku un caurspīdīgāku;
- nodrošināt iespēju apgūt mācību vielu jebkurā vietā un jebkurā laikā;
- nodrošināt atgriezenisko saiti ar mācībspēku un zināšanu novērtējumu;
- pārvaldīt mācību materiālus.

Pamatojoties uz AMPS analīzi (Research, 2022), var secināt, ka esošo sistēmu funkcionalitāte galvenokārt nodrošina mācību resursu uzglabāšanu un lietotāja darbības uzraudzību. Lielākās tirgū esošās AMPS (*eLearning Industry*, 2022) var būt papildinātas ar papildu funkcionalitātes moduļiem, kas ļauj, pievienojot katram uzdevumam nepieciešamās kursa darbības aktivitātes, zināšanu pārbaudes formas, dokumentu uzglabāšanas formas utt. Neskatoties uz pieejamo papildinājumu funkcionalitātes iespējam, esošās AMPS nevar nodrošināt mācību procesa centralizētu pārvaldību, jo papildinājuma moduļu funkcionalitāte nodrošina autonomu procesa darbību tikai katra komponenta līmenī.

AMPS ir programmas nodrošinājums, kas var būt integrēts esošajās sistēmās. Esošie AMPS nodrošinājumi ir izstrādāti katrai konkrētai sistēmas platformai un dod iespēju pielāgot saturu, pamatojoties uz izstrādātā moduļa fragmentācijas iespējām un attēlošanas scenārija automatizāciju. Kā jau tika minēts iepriekš, viens no AMPS uzdevumiem ir satura pielāgošana katra izglītojamā zināšanu līmenim.

Aprakstot tīmeklī balstītas AMPS, informāciju, kas tiek sagatavota attēlošanai lietotājam, sauc par saturu (angļu valodā – *content*). Iepriekš bija minēts, ka tīmeklī balstītu saturu var sadalīt divās kategorijās: statiskais saturs un dinamiskais saturs.

Statiskajam saturam, kur informācija, kas tīmekļa platformas līmenī ir ierakstīta programmas kodā un nevar tikt pielāgota vai mainīta, programmatūras izstrādes līmenī saturs tiek sadalīts, balstoties uz tā ģenerēšanas metodēm. Informācija tiek ierakstīta programmas kodā un netiek mainīta lapas attēlošanas/ģenerēšanas laikā. Dinamiskajam saturam, kur informācija, kas tiek pielāgota katram konkrētajam notikumam, katru reizi veicot pieprasījumu tīmekļa vietnei, tiek nolasīta no ārējā glabāšanas avota, ņemot vērā notikumā balstīto vaicājumu no datu krātuves (Raj, 2021). Arvien vairāk AMPS tiek realizēta mācību satura fragmentācija atsevišķos moduļos, kas ļauj aizvietot liela apjoma saturu ar noteiktas tematikas vai aktivitātes daļām.

Promocijas darbā autore apskata saturu, pamatojoties uz informācijas attēlošanu no lietotāja puses. Par statisko saturu tiek uzskatīts saturs, kas nemainās vai mainās minimāli, saglabājot kopējo lapas struktūru un informācijas tematiku tīmekļa lapas pārlādēs laikā. Par statiskiem tiek uzskatīti zinātnisku publikāciju atvērtie piekļuves dati, lietotāju rokasgrāmatas, tehniska satura informācija, tiešsaistes diskusijas vietnēs katra izvēlētā jautājuma kontekstā, kur jautājums ir fiksēts. Galvenā statiskā satura priekšrocība ir tāda, ka AMPS ir atvērtas meklēšanas serveru robotiem, kas dod iespēju ģenerēt mācību saturu, izmantojot iepriekš definētu informācijas

repozitoriju.

Dinamiskais saturs tiek ģenerēts informācijas attēlošanas momentā, un informācijas izkārtošanas struktūra un saturs nevar būt zināms. Dažās sistēmās informācijas strukturizēšanai vai meklēšanai tiek izmantoti iepriekš definēti šabloni, kas ļauj meklēt informāciju atlasītajā saturā vai veicot nepārtrauktu pieprasījumu skaitu, atjaunojot lapas saturu, bet dinamiskais saturs nevar tikt izmantots kā reāla laika informācijas avots mācību procesa īstenošanā.

Mācību procesa realizācijas laikā izglītojamais izpilda katrā modulī paredzētos uzdevumus. Promocijas darbā tiek pieņemts, ka mācību modulis ir izglītojošas informācijas minimāli nepieciešamais apjoms, kas nodrošina kādas konkrētas tēmas apskatu mācību kontekstā. Datorizēta mācību pārvaldības sistēma moduļa attēlošanai var saturu attēlot teksta veidā, video vai audio, kā arī var saturēt dažādu interaktīvu darbību kopu.

Mūsdienās plaši tiek izmantota uz moduļiem balstīta pieeja (*Module Learning Objects*) (*Schreurs un Moreau, 2007*). Šī pieeja ļauj izmantot centralizētu servera balstītu modulāru struktūru mācību satura veidošanas un publicēšanas laikā. Lai nodrošinātu mācību moduļa indeksāciju attālinātajā apmācībā, modulārajās sistēmās tiek izmantoti metadati, kas apraksta moduļa saturisko daļu. Pamatojoties uz izveidotu indeksāciju AMPS, var aizpildīt mācību saturu ar nepieciešamo mācību informāciju (piemēram, definīcijas, teorijas skaidrojumi utt.) izmantojot rasmošanas metodes. Pamatojoties uz mācību standartu SCORM (*Shareable Content Object Reference Model*) (*ADLI, 2020*), moduļa izplatīšanas iespējas AMPS ietvaros tiek dēvētas par koplietojama satura objekta (*Shareable Content Object*) pieeju.

Pamatojoties uz pētījuma rezultātiem (*Norenkov, 2003*), autors ir pierādījis, ka koplietojama satura objekta pieejas izmantošanai mācību satura izstrādes laikā pirmreizējai izstrādei ir vajadzīgs vairāk laika salīdzinājumā ar vienkāršu kopēja moduļa informācijas publicēšanu. Koplietošanas satura izmantošana ļauj nodrošināt uz izglītojamā zināšanu līmeņiem balstīta adaptīva mācību plāna izstrādi, integrējot sagatavotus, uz noteiktu tēmu balstītus objektus satura kontekstā (*Njuguna u. c., 2007; Nithya un Nirmala, 2022*).

Patlaban individuālo mācību plānu galvenokārt izstrādā mācībspēks, pielāgojot moduļu attēlošanas secību un nosacījumus. Piemēram, *Moodle* bāzes funkcionalitāte ļauj izmantot vairākus kritērijus individuāla mācību plāna aktivitāšu attēlošanai:

- mācību uzsākšanas un noslēgšanas laiks – pamatojoties uz iepriekš definētiem kritērijiem, mācībspēks var noteikt katras aktivitātes izpildes nosacījumus. Šis kritērijs tiek izmantots galvenokārt zināšanu pārbaudes laikā, kad izglītojamam noteiktā laika periodā, ir jāizpilda ar iepriekš definēto mācību plānu saistīti uzdevumi;
- moduļa satura attēlošanas nosacījumi – pamatojoties uz mācībspēka definētajiem kritērijiem, izglītojamais iegūst pieeju nākošai aktivitātei, izpildot kritēriju kopu (izpildīti uzdevumi, sasniegts noteikts zināšanu līmenis un citi uz mācību plāna izpildi saistīti nosacījumi);
- piekļuves tiesības – piekļuves ierobežošana, pamatojoties uz lietotāja grupas klasifikatoriem.

Neskatoties uz individuāla mācību plāna ģenerēšanas iespējām *Moodle* sistēmā, to nevar klasificēt kā AMPS. Saturs tiek ģenerēts, pamatojoties uz eksperta izvēlētu un lietotājam pielāgotu mācību plānu, bet sistēma izpilda iepriekš definētus nosacījumus bez iespējām

pielāgot/mainīt mācību satura pasniegšanas secību.

Izvēloties AMPS mācību satura publicēšanai, ir nepieciešams identificēt programmatūras izmantošanas scenāriju ierobežojumus. Mūsdienu mācību pārvaldības sistēmas ir iedalītas divās galvenajās kategorijās pēc to pielietošanas scenāriju principiem:

- mācību moduļa apguves sistēmas (MMAS);
- mācību satura uzglabāšanas un pārvaldības sistēmas (MSUPS).

MMAS nodrošina izglītojamā piekļuvi mācību kursa saturam, pamatojoties uz iepriekš vienu auditorijas grupai izveidotu scenāriju (piemēram, *open edX*, *Learnpress*). Šo sistēmu priekšrocības ir saistītas ar pielāgotu lietotāja saskarni, kas nodrošina tikai sistemātisku mācību satura attēlošanu, balstoties uz izglītojamā sasniedzamajiem rezultātiem. Aprakstīto pieeju izmanto tiešsaistes mācību platformas, tādas kā *Coursera*, *Udemy*, *edX*. Iepazīstoties ar pieejamo produktu tehniskās dokumentācijas apskatiem (*eLearning Industry*, 2022), var secināt, ka sistēmas tikai minimāli nodrošina pielāgošanu kādam konkrētam scenārijam, jo tām ir tikai AMPS pamata funkcionalitāte – video, teksta un audio satura attēlošanas iespējas, zināšanu pārbaudes testi, satura veidošana, izmantojot HTML. Mācību satura autoram ir noteikti ierobežojumi mācību satura publicēšanai. MMAS struktūra ir slēgta un nodrošina tikai uz noteiktu uzdevumu izpildi. Šāda veida sistēmām nav tīmekļa pakalpes nodrošinājuma, kas apgrūtinā to pieslēgšanu ārējiem vadības moduļiem.

MSUPS lietotājam nodrošina mācību satura uzglabāšanu un attēlošanu, balstoties uz iepriekš definētu scenāriju, kas var būt pielāgots gan individuālam lietotājam, gan lietotāju grupai. Būtiskākā atšķirība no mācību moduļa apguves sistēmu platformām ir datņu integrācijas iespējas un failu struktūras atbalsts datu uzglabāšanai. Pašlaik Latvijā populārākā šajā AMPS kategorijā ir Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment (*Moodle*) sistēma (*Vagale*, 2017). Daži autori (*Cheng-Chao*, 2005; *Xiang-Feng*, 2014) šo sistēmu salīdzina ar faila serveri, kas nodrošina AMPS funkcionalitāti. Pamatojoties uz aktuālāko MSUPS tehnisko aprakstu (*Moodle*, 2022), programmatūra ir veidota uz tīmekļa pakalpes balstītu principu, kas atbalsta katras funkcionalitātes pārvaldību, izmantojot ārējās pakalpes, kuras apstrādā datus, nenoslogojot pamata servera darbību.

Promocijas darbā autore ir veikusi esošo AMPS salīdzinošu analīzi, nosakot mācību platformu fragmentācijas un tīmekļa pakalpes izmantošanas iespējas, kas identificē rīkus, kuros mācību procesa organizācijas pārvaldību var nodot ārējiem vadības resursiem. Par pamatu AMPS izvēlei tiek izmantota *Moodle* sistēma, kas tiek izmantota 76% no Latvijā esošajām mācību pārvaldības sistēmām (*Margeviča-Grinberga* un *Šūmane*, 2020).

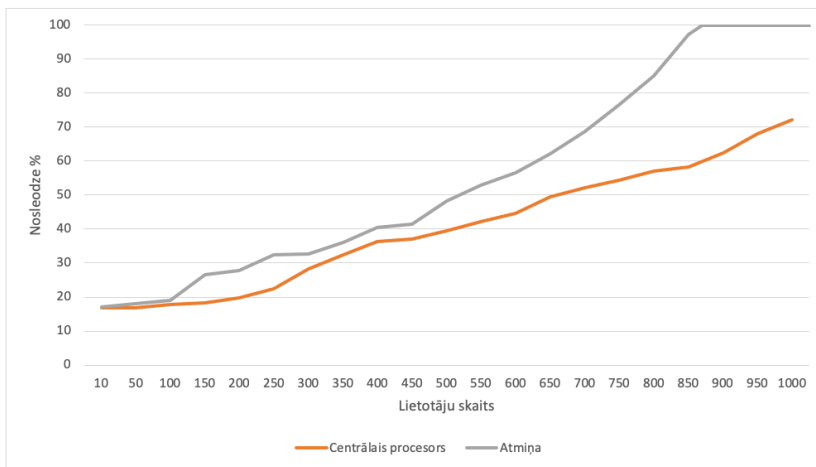
## 2022. gadā izmantotas AMPS Latvijā

Sistēmas nosaukums	Izvietojšanas tips	Tīmekļa pakalpes pieejamība	Pirmkoda pieejamība	Vieta augstākajā kategorijas sarakstā*
<i>Moodle</i>	Pakalpojums / instalējams	Iespēja pārvaldīt katru sistēmas procesu	ir	12
<i>Learnpress</i>	<i>Wordpress</i> paplašinājums	Nepastāv tiešā veidā, bet ir iespēja piekļūt datubāzēs uzglabātai informācijai	daļēji ir	8
<i>SkyPrep</i>	Pakalpojums	Iespēja pārvaldīt mācību saturu un lietotāja sasnieguma datus	nav	7
<i>Canvas</i>	Pakalpojums	nav	nav	14
<i>iSpring Learn</i>	Pakalpojums	Iespēja pārvaldīt mācību saturu un lietotāja sasniegumu datus	nav	10
<i>LMS365</i>	Pakalpojums	Iespēja pārvaldīt mācību saturu un lietotāja sasniegumu datus, izmantojot <i>Microsoft</i> produktus	nav	Nav identificēts

\* (Software Testing Help, 2022)

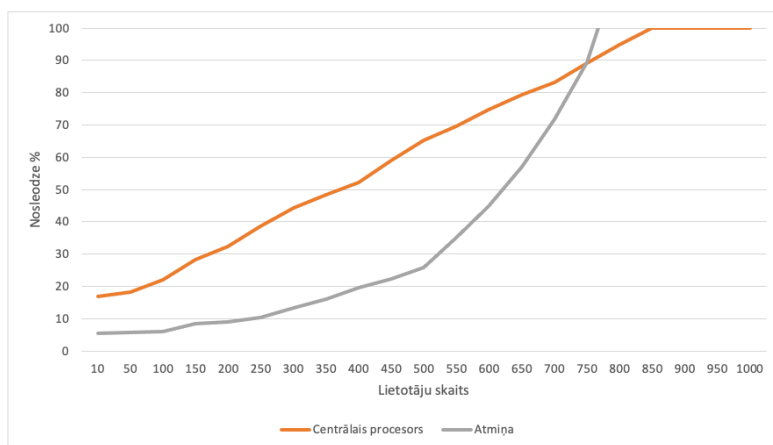
AMPS tika salīdzinātas (1.1. tabula) pēc to funkcijām, trūkumiem, tīmekļa pakalpes un pirmkoda pieejamības un to izvietojšanas tipiem (*Software Testing Help*, 2022). Kā var secināt no 1.1 tabulas, pašlaik aktuālās mācību platformas nodrošina tīmekļa pakalpes atbalstu, kas ļauj veikt sistēmas pārvaldību, nododot uzdevuma izpildi ārējām vadības sistēmām. Lietotās AMPS atbalsta ārējo moduļu pieslēgšanu, integrējot to satura pārvaldībai servera līmenī. Pamatojoties uz promocijas darba izstrādes laikā veikto izpēti, Latvijā galvenokārt tiek izmantotas atvērtā koda AMPS, kas ļauj integrēt mācību platformu esošajās sistēmās un pielāgot/paplašināt programmatūras funkcionalitāti katram izglītojamam. Pamatojums AMPS izvēlei ir produkta piesaiste noteiktai servera uzturēšanas vietai, kas var ietekmēt datu pārraides ātrumu gadījumos, kad saturs tiek izmantots lokālā tīkla segmentā un ierobežo piekļuvi programmatūras kodam un datubāzē saglabātajiem datiem.

Promocijas darba autore ir veikusi salīdzinošo analīzi, nosakot servera noslodzi, nodrošinot lietotāja aktivitātes uzraudzību *Moodle* AMPS ietvaros, izmantojot izstrādāto, servera līmenī integrēto moduli un ārējo pārvaldības sistēmu, kas datu iegūšanai izmanto piekļuves programmsaskarni (angļu valodā - *application programming interface*).



1.3. att. AMPS noslodze, izmantojot Moodle satura atlas funkcionalitāti.

Pamatojoties uz promocijas darba izstrādes laikā iegūtajiem rezultātiem 1.3. attēlā, var secināt, ka lietotāju skaits ietekmē AMPS produktivitāti, noslogojot servera procesoru un patērējot pieejamo operatīvo atmiņu. Eksperimenta laikā tika izmantots Moodle satura pielāgošanas algoritms video mācību materiāla izvēlei, pamatojoties uz zināšanu pārbaudes rezultātiem. Eksperiments tika veikts, izmantojot Digitālo prasmju centra (dpc.lv) mācību platformu mācību procesa īstenošanas laikā projekta macibaspieaugusajiem.lv ietvaros. Tādējādi, palielinoties lietotāju skaitam, sistēma ierobežo resursu pieejamību pamatuzdevumu izpildei. Tas ir saistīts ar Moodle servera arhitektūru, kur katra moduļa aktivitāte tiek izpildīta lineārā formātā un prasa vairākkārt nodrošināt piekļuvi datubāzei, lai apstrādātu lietotāja notikumus.



1.4. att. AMPS noslodze, izmantojot ārējo mācību satura atlas funkcionalitāti.

Nodrošinot uzdevuma izpildi ar ārējo vadības serveri, Moodle serveru noslodze tiek samazināta, kas ļauj palielināt ar mācību procesu saistīto uzdevumu izpildi (1.4. attēls).

Pētījumos par AMPS ir sastopami divi termini: mācību mērķis (*Learning Objective*) un mācību rezultāts (*Learning Outcomes*). Balstoties uz pedagoģijas nozares skaidrojumu, abi termini var tikt uzskatīti par sinonīmiem un nosaka kompetenču ieguvu, balstoties uz valsts pieejamiem mācību standartiem (likumi.lv, 2022a). Promocijas darbā tiek izmantots termins “mācību rezultāts” (*Learning outcomes*) izglītojamo sasniedzamā rezultāta aprakstam.

Pētījumos, kas ir saistīti ar adaptīva mācību procesa integrēšanu tālmācības pārvaldības sistēmās (*Sridharan u. c., 2021; Tripathi un Singh, 2016; Santoso u. c., 2014*), ir sastopams termins “izglītojamā modelis”. Tādējādi, AMPS ir jānodrošina individuāla mācību satura pielāgošana katram izglītojamam saskaņā ar tā modeli. Tādējādi tiek nodrošināta izglītojamā vadība mācību procesa laikā. Personalizētai izglītojamā vadībai AMPS ir jāizveido izglītojamā digitālais modelis jeb datu kopa, kas ietver sevī informāciju par izglītojamā sasniegtajiem rezultātiem, esošo zināšanu līmeni, izglītojamā personiskajām īpašībām, mācīšanas stilu un spējām uztvert mācību materiālu utt. Ņemot vērā AMPS prasības, izglītojamā modelis ietver sevī scenārijus datu savākšanai un apstrādei, pamatojoties uz lietotāja īpašībām.

Piemēram, SIA “Tālmācības autoskola” mācību platforma [www.macam.lv](http://www.macam.lv) atbalsta lietotāja modeļa veidošanu, kas ir iedalīta divās daļās:

- *teorētisko zināšanu apguves spējas* – spējas mācīties patstāvīgi un apgūt teorētiskās zināšanas, mācoties ceļu satiksmes noteikumus atbilstoši izvēlētajai kategorijai. Lietotāja modelis ietver sevī kompetenci orientēties ceļu satiksmē un identificēt būtiskas kļūdas, kas palīdz noteikt potenciālas problēmas lietotāja praktisko nodarbību personalizācijai. Pamatojoties uz izveidotā teorētisko zināšanu apguves modeļa rezultātiem, AMPS ģenerē mācību plānu praktisko nodarbību instruktoram, kas ļauj organizēt mācību procesu, ņemot vērā izglītojamā spējas apgūt noteiktas mācību programmas tēmas (ceļazīmes, transporta organizāciju, stāvēšanas un apstāšanās noteikumus utt.);
- *praktisko iemaņu apguves spējas* – spējas reaģēt uz jaunu dinamisku informāciju un pieņemt lēmumu ārkārtas situācijās. Praktisko nodarbību laikā sistēma, pamatojoties uz videoieraksta analīzes rezultātiem, nosaka izglītojamā spējas identificēt noteiktas situācijas uz ceļa un, izmantojot integrēta uzvedības noteikšanas algoritma rezultātus, identificē problēmas tematiku, ko izglītojamam papildus ir jāapgūst teorētiskās nodarbības laikā. Uzvedības noteikšanas algoritms reaģē uz lietotāja reakciju, un, sistēmai identificējot “nestandardu uzvedību”, instruktors klasificē, kāda ceļu satiksmes situācija ir izraisījusi izmaiņas izglītojamā uzvedībā. Iegūtie dati ļauj teorētisko tēmu apguves procesu papildināt ar tēmām, kas palīdz uzlabot mācību kursa sasniedzamā rezultāta kvalitāti.

Sistēmā, izglītojamā modeļa dati ir balstīti uz kādu konkrētu uzdevumu viena mācību kursa ietvaros un nevar tikt pārnesti uz citu mācību kursu.

## 1.6. Adaptīvu mācību pārvaldības sistēmu standarti

Attīstoties mācību pārvaldības sistēmas klāstam, rādās vajadzība pēc digitāla mācību kursa izstrādes un pasniegšanas standartiem, lai nodrošinātu mācību kursa migrāciju uz citām alternatīvām AMPS. (*Parmar, 2012; Uta, 2007*)

Pirmie pētījumi (*Morgan, 2003*), kas ir saistīti ar mācību platformu standartizācijas jautājumiem, bija balstīti uz metadatu vai indeksācijas modeļa izmantošanu mācību kursa elementiem. Pamatojoties uz (*Kandel u. c., 2004*), datu uzglabāšanai tika izmantota indeksēta veida datubāze, kur mācību tēma tika saglabāta kā *HTML* datu kopa un saturēja atslēgvārdus (metadatus) informācijas meklēšanai. Atslēgvārdu izmantošana nodrošināja mācību satura paplašināšanas iespējas vienas sistēmas ietvaros, piedāvājot automātiski ģenerētu navigāciju mācību kursā.

Attīstoties MPS risinājumiem, parādījās nepieciešamība nodrošināt mācību kursa un mācību plāna pārnēsēšanas iespējas, starp mācību platformām ieviešot satura pakotnes modeli (*Piller un Ponnors, 2018*). Metadatu modelis neļauj pilnvērtīgi pārnest informāciju starp AMPS, saglabājot piemērotas mācību kursa struktūras īpatnības (kursa attēlošanas secību, lietotāju aktivitātes, mācību platformas aktivitātes). Satura pakotnes modelis nodrošina gan mācību satura, gan pasniegšanas plāna uzglabāšanu, kas ļauj izveidot programmu, izmantojot mācību moduļus. Satura pakotnes modeļa trūkums ir MPS struktūras atšķirības, kas neļauj vienas sistēmas saturu integrēt citā sistēmā. Ierobežojumi ir saistīti ar pakotņu satura struktūru, kas ir pielāgota katras AMPS funkcionalitātei. Atvērtā koda AMPS pakotņu struktūra var būt pielāgota citām alternatīvām mācību platformām, bet komerciālajos produktos tā ir slēgta.

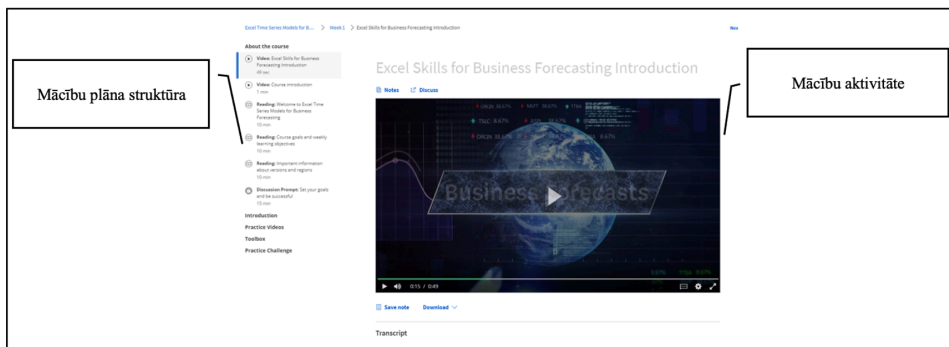
Patlaban esošo MPS klasifikācijai tiek izmantoti standarti, kas tika izstrādāti sadarbojoties ar *Advanced Distributed Learning Initiative (ADL)*, *Aviation Industry Computer Based Training Committee (AICC)* un *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*.

ADL iniciatīva tika piedāvāta 1997. gadā ar mērķi veicināt trīs pušu sadarbību starp biznesa, akadēmisko un valstisko vidi, kas nodrošinātu savstarpēju katrai struktūrai mācību satura veidošanu, kura, savukārt, nodrošina struktūras defragmentāciju (*Wisher un Dexter, 2004*).

E-apmācību standarta ievērošana kļuva aktuāla tad, kad datorizēto apmācību sāka izmantot aviācijas sektorā, teorētiskajosursos apmācot jaunos pilotus. Apmācības laikā bija būtiski ievērot informācijas pasniegšanas secību un veidu, kā informācija tiek attēlota lietotājam. AICC komiteja (*Bures un Jelinek, 2005*) sadarbībā ar IEEE, par pamatu ņemot XML standartu, izstrādāja standartu un specifikācijas apkopojumu SCORM (*Sharable Content Object Reference Model*), kas nodrošināja vadlīnijas datorizētajai apmācībai. Tajā ietvertas prasības mācību materiālu organizēšanai un visai tālmācības sistēmai kopumā. SCORM ļauj nodrošināt komponentu savietojamību un to atkārtotu izmantošanu, jo mācību materiāls tiek attēlots ar atsevišķiem maziem blokiem, kurus var iekļaut dažādosursos un izmantot tālmācības sistēmā neatkarīgi no tā, kas, kur un ar kādiem līdzekļiem tos ir izveidojis.

Vairākos avotos (*Manal u. c., 2017; Pena-Molina, 2022; Patil un Chandankhede, 2022*) mācību standarti tiek iedalīti divās daļās: dizaina elementu standarts un tehniskais standarts. Dizaina elementu standarts satur informāciju, kas ietver sevī vadlīnijas mācību satura attēlošanai un atbalstāmo tehnoloģiju klāstam, un tas var būt ievietots mācību pārvaldības sistēmās. Veicot biežāk izmantoto tīmekļa komerciālo produktu salīdzinājumu, var saskatīt, ka MPS interfeisā tiek izmantota vienota informācijas reprezentācijas struktūra.





1.5. att. AMPS standartizēta lietotāja saskarnes interfeisa struktūra.  
(modificēts no (Coursera, 2022))

Piemēram, komerciālie produkti Udemy.com, Coursera.com, edx.org un nekomerciālais atvērtā koda produkts *Learnpress* mācību kursa attēlošanai galalietotājam uz ekrāna izmanto vienotu informācijas reprezentācijas metodi, piemēram, kā 1.5. attēlā. Tas ir pamatots ar nepieciešamību mazināt laiku mācību procesā izmantotās programmatūras saskarnes apgūšanai, kas palīdzēs lietotājam pārslēgties starp izvēlētajām AMPS.

Tehnisko standartu apakšgrupā pašlaik aktualitāti ir trīs standarti – SCORM, AICC un WCAG (*Web Content Accessibility Guidelines*), kas ietver sevī nepieciešamās prasības kā nodrošināt pieejamību MPS cilvēkiem ar īpašām vajadzībām.

## 1.7. Adaptīva mācību procesa vadības modeļi

Katra datorizētā sistēma ietver sevī arhitektūru, kas nodrošina to elementu mijiedarbības vadību ar citiem sistēmas elementiem un ārējo vidi, kā arī apraksta scenārijus, kas nodrošina sistēmas projektēšanu un turpmāko attīstību (*Weilkiens u. c., 2022*). AMPS arhitektūra satur trīs pamatmodeļus: satura reprezentācijas modeli, izglītojamā modeli un adaptācijas modeli (*Bontchev, 2012; Martin, 2020*).

### *Satura reprezentācijas modelis*

Viens no izplatītākajiem satura reprezentācijas modeļiem ir HTML balstītas struktūras modelis (*Barhoumi un Rossi, 2013; Tripathi un Singh, 2016*), kas nodrošina informācijas attēlošanu, izmantojot HTML struktūrā definētus atslēgas tagus. HTML dokuments ir sadalīts sadaļās, kas apraksta katru konkrēto dokumenta sadaļu un ir iespējams automatizēt informācijas meklēšanu un satura atlasīšanu no HTML dokumentiem. Mūsdienās AMPS attēlo saturu, izmantojot HTML struktūru. Kā jau tika minēts iepriekš, HTML satura reprezentācijas modeļa būtisks ierobežojums ir statiskā struktūra, kas neļauj mainīt saturu un tā attēlošanas secību. Attīstoties rasmošanas (angļu valodā – *web scraping*) tehnoloģijām, HTML struktūra tiek izmantota automatizētai informācijas iegūšanai, kas ļauj analizēt un pielāgot mācību plānu, izmantojot ārējās vadības sistēmas. Analizējot statiskā satura pirmsapstrādi mācību plāna ģenerēšanai, ir iespēja transformēt iepriekš definēta kursa struktūru adaptīvā apmācībā, atlasot tēmas, ņemot vērā lietotāja modeļa prasības.

Var izdalīt četrus satura reprezentācijas modeļus adaptīvās mācību pārvaldības sistēmās: saturu kopas modelis, freimu modelis, semantiskais tīkls, metadatu modelis (*Pratap u. c., 2022; Chen u. c., 2008; Neepa, 2012*).

*Satura kopas modelis* ietver sevī noslēgtas kopas (mācību tēmas), kas ir papildinātas ar diviem parametriem – ieejas prasību klasifikatoru un sasniedzamo rezultātu klasifikatoru. Satura kopas modeļos katra kopa tiek attēlota kā atsevišķs solis mācību programmas ietvaros, kur programmu apguves plāns tiek ģenerēts, balstoties uz moduļa ieejas nosacījumiem. Šādu modeli var salīdzināt ar universitātes studiju programmu, kur studiju kursi ir sakārtoti, ņemot vērā nepieciešamo iepriekš iegūto zināšanu līmeni. Šis modelis tiek plaši izmantots esošajās AMPS un nodrošina kursa apguves scenārija vadību, izmantojot iepriekš definētas, uz moduli balstītas prasības. Izglītojamais var izvēlēties moduļu apguves secību, ņemot vērā pieejamo moduļu klāstu.

*Freimu satura modelis* ir satura kopas modeļa paplašinājums (*Brusilovsky, 2001*), kas nodrošina katra moduļa detalizētu aprakstu. Freimu modeļa izmantošana izglītībā pirmo reizi ir minēta 1979. gadā. Freimu modeļa struktūra ir sadalīta komponentos (*Totkov u. c., 2017*), kas nodrošina saturu par kādu konkrētu tematiku mācību tēmas kontekstā. Katrs komponents ir aprakstīts ar parametriem bloka attēlošanai mācību satura veidošanas procesā. Freimu modelis izmanto abstraktus izglītojamā datus individuāla mācību plāna ģenerēšanai, izmantojot katra komponenta apguves prasības. Pieceja ir izmantota uzdevumos, kur mācībās sasniegto var novērtēt ne tikai ar vērtējumu izvēlētajā vērtēšanas skalā, bet, piemēram, noteikt, ar kādu interesi izglītojamais ir apguvis mācību saturu, noteikt laika intervālu, kāds ir nepieciešams satura apgūšanai.

*Semantiskā tīkla satura modelis* ir semantiskais tīkls, kas sastāv no mācību moduļu kopas. Semantiskajā tīklā katrs elements satur mācību satura apgūšanas prasības apguves uzsākšanai un sasniedzamo rezultātu līmeni mācību satura apguves noslēgumā, kā arī metadatus, kas raksturo moduļa struktūru un apgūstamo informāciju. Semantiskā tīkla modeļa struktūra vienā mācību kursā ļauj apvienot mācību moduļus ar dažādu struktūru un informācijas pasniegšanas veidus, kas ļauj AMPS izvēlēties individuālu mācību trajektoriju katram izglītojamam, balstoties uz semantiskā tīkla modeļa vadības scenāriju (*Neepa, 2012; Wang un Chen, 2008*)).

*Metadatu satura modelis* ir mācību satura attēlošanas struktūra, kas ietver sevī stingru mācību moduļu apguves secības ievērošanu (*Ingavelez-Guerra u. c., 2021*). Katrs modulis satur metadatus, kas raksturo tā saturisko daļu. Pamatojoties uz mācību procesa apguves rezultātiem, AMPS pielāgo mācību plānu, nosakot moduļa un tā saturiskās daļas apjoma attēlošanas nepieciešamību katram izglītojamam.

### ***Izglītojamā modelis***

Izglītojamā modelis ir raksturlielumu kopums, kas reālā laikā, balstoties uz datiem no ārējām izvadierīcēm un AMPS ģenerētajiem datiem, veido lietotāja digitālo profilu. Uz lietotāja centrētu mācību procesa nodrošināšanai izglītojamā modelim ir jāizpilda trīs prasības:

- atbilstības pārbaude – process, kas nodrošina izglītojamā individuālo īpašību pārbaudi noteiktu mācību mērķu sasniegšanai;
- identitātes pārbaude – process, kas nodrošina izglītojamā identitātes pārbaudi un to

atbilstību sistēmā esošajam modelim;

- aktivitāšu pārbaude – process, kas nodrošina izglītojamā sasniedzamo rezultātu validāciju un pārraudzību atbilstoši mācību procesa laikā izpildītajam aktivitātēm.

AMPS izglītojamā modelis ir dinamisks un tiek mainīts reālā laikā. Lietotāja raksturlielumu parametri ir noteikti, balstoties uz izglītojamā mācību procesa īstenošanas laikā iegūtajiem rezultātiem, kas raksturo izglītības programmas apguves tempu un kvalitāti (*Bures un Jelinek, 2006; Grubisic u. c., 2015*).

### ***Adaptācijas modeļi***

Pētījumos, kas ir saistīti ar adaptīva mācību procesa īstenošanu, tiek lietoti divi termini – ‘hipertekstu sistēma’ un ‘hipermediju sistēma’ (*Chelliq, 2021; Lihua, 2021*). MPS ar statisko saturu izmanto hiperteksta modeli mācību satura attēlošanai, kur dati tiek uzglabāti serverī vai lokālajā datorā. Hiperteksta sistēmas spēj attēlot informāciju, izmantojot uz HTML balstītu struktūru (MDN, 2022), nodrošināt saites starp iekšējiem vai ārējiem resursiem, kā arī nodrošināt datu eksportēšanu reprezentācijas formātā. Jebkura hiperteksta sistēma ir balstīta uz hiperteksta datu modeli. Hipermediju sistēmas tiek izmantotas tīmekļa sistēmās, nodrošinot informācijas ģenerēšanu datu attēlošanas laikā. Dažos pētījumos hipermediju sistēmas tiek aizstātas ar klienta-servera tehnoloģiju sistēmām (*Jazuly u. c., 2022; Jotsov u. c., 2021*). Var uzskatīt, ka struktūras kontekstā nav nepieciešams nodrošināt sistēmu sadalījumu hiperteksta un hipermediju sistēmās, jo AMPS nodrošina visu datu formātu atbalstu informācijas attēlošanai gan statiska, gan dinamiska satura datiem serveru pusē. Attīstoties tīmekļa pieejamībai, sākot ar 2000. gadu, AMPS nodrošina mācību procesu, izmantojot klienta-servera tehnoloģijas, ģenerējot nepieciešamo saturu servera pusē, kas ļauj nodrošināt sistēmas adaptāciju plašam lietotāju lokam (*Prior u. c., 2000*).

Savukārt ‘adaptīva hipermediju sistēma’ nodrošina hipermediju sistēmu funkcionalitātes papildināšanu, izmantojot uz lietotāja modeļa balstītus datus, kuri nosaka mācību pārvaldības sistēmas darbības scenāriju (*Brusilovsky, 1997; Brusilovsky, 1998; Brusilovsky, 2001; Hatzilygeroudis u. c., 2005*).

Adaptīvas hipermediju sistēmas klasificē šādi (*Volanskaja, 2002*):

1. Adaptīva satura reprezentācijas sistēmas – sistēmas, kas nodrošina plāna pielāgošanu lietotāja modelim, kad, attēlojot noteiktu satura daļu, nemaina mācību plānu un informācijas attēlošanas secību. Piemēram, *Moodle* sistēmā izveidotā mācību kursa struktūra tiek pielāgota, balstoties uz informācijas attēlošanas nosacījumiem, kur lietotājam mācību kursa struktūra paliek nemainīga, bet mainās apguves tēmas un apgūstamo tēmu secība.
2. Adaptīva mācību plāna reprezentācijas sistēmas – sistēmas, kas nodrošina mācību plāna pielāgošanu lietotāja modelim, kad, attēlojot noteiktu saturu, maina mācību plāna apguves secību. Adaptīva mācību plāna reprezentācijas sistēmas darbības laikā mācību plāna ģenerēšanai ir divi ierobežojumi – apguves ierobežojumi un lietotāja modeļa atbilstības stāvoklis mācību plāna apguvei.

Adaptīvas mācību plāna reprezentācijas sistēmas struktūra tiek nodrošināta, izmantojot divas algoritmiskas pieejas.

*Adaptīvas kursa programmas plānošanas algoritms* (angļu valodā – *Adaptive Courseware complete guide*) ir pieeja, kas lietotāja vietā nosaka katra nākamā mācību posma secību (Grubisic u. c., 2015). Izmantojot mācību plāna plānošanas algoritmu, izglītojamam apgūstot kādu konkrētu mācību moduli, ir iespēja izvēlēties modulī iekļautās informācijas apguves secību. Mācību moduļu attēlošanas secība tiek ģenerēta, balstoties uz lietotāja esošā modeļa parametriem, kuru izvēli un atbilstības nosacījumus definē mācību kursa autors. Informācijas attēlošanas secība ir ierobežota ar izvēli starp moduļiem, kur lietotājs var atgriezties iepriekšējā solī, bet nākamā soļa izvēle pamatojās uz noteiktu nosacījumu izpildi katra moduļa ietvaros. Šāda veida sistēmas mācību plāna izstrādes procesu var salīdzināt ar ceļa meklēšanu orientētā grafā, kur sākotnēja un noslēguma virsotne ir zināma, bet ceļi starp virsotnēm ir atšķirīgi. Adaptīvas kursa programmas plānošanas sistēmas ir sastopamas gan pieaugušo izglītības sistēmā, kas nodrošina profesionālās kompetences pilnveidošanu, gan pirmsskolas un vidusskolas izglītības kontekstā, nodrošinot individuālas nodarbības izglītojamiem, kas savā struktūrā ir salīdzināmas ar individuālām nodarbībām pedagoga vadībā. Šāda veida sistēmas tiek izmantotas tad, ja ir stingri definēti mācību procesa sasniedzamie rezultāti, bet mācību vielas apguves laikam ir dinamiska vērtība.

*Personalizēts plāna pielāgošanas algoritms* (*Personalized learning*) ir algoritms, kas nodrošina noteiktu uzdevumu kopas pielāgošanu, ņemot vērā lietotāja esošo zināšanu līmeni (Huang u. c., 2011; Sarkar un Huber, 2021). Mācību plāns tiek pielāgots, ņemot vērā lietotāja modeļa parametrus, kas nosaka mācību vielas apgūšanas tempu un lietotāja zināšanu līmeni. Izmantojot personalizēta plāna pielāgošanas algoritmu, mācību programmas apguves secība ir nemainīga, bet mācību programmā sasniedzamais rezultāts tiek koriģēts, ņemot vērā izglītojamā modeļa datus. Sistēma, pielāgojot mācību plānu, nosaka informācijas moduļu attēlošanas prioritātes, izslēdzot no mācību programmas tēmas, kas neatbilst izglītojamā zināšanu līmenim. Šāda veida sistēmas tiek izmantotas gadījumos, kad mācību vielas apguves laiks ir stingri definēts, bet sasniedzamie rezultāti ir elastīgi.

## 1.8. Mācību pārvaldības sistēmu risinājumi

Mācību pārvaldības sistēmu salīdzinošas analīzes veikšanai promocijas darbā ir veikta pedagogu mērķauditorijas intervija, kurā piedalījās 3 nozares eksperti. Apkopojot intervijas rezultātus, tika definēti 25 kritēriji, kas ļauj novērtēt AMPS atbilstību uz izglītojamo centrēta mācību procesa īstenošanai ir sadalīti 5 apakšgrupās.

- Programmatūra atbalsta attālināta mācību procesa nodrošinājumu:
  - mācību kursa publicēšanas iespējas;
  - lietotāju piesaiste kursam;
  - informatīva statiskā mācību materiāla piesaiste kursam;
  - zināšanu pārbaudes aktivitātes piesaiste kursam;
  - programmatūras attālināta izmantošana.
- Programmatūra nodrošina izpildīto aktivitāšu pārraudzību:
  - aktivitātes vizualizācijas nosacījumu izmantošana satura pasniegšanai;
  - izpildītas aktivitātes uzskaitē;

- izpildītā aktivitātē patērētā laika uzskaite;
- izpildītas aktivitātes uzskaite;
- izpildītas aktivitātes pārskata forma.
- Programmatūra atbalsta individuāla mācību plāna realizāciju, izmantojot adaptīva plāna pielāgošanas metodes:
  - zināšanu atspoguļošana lietotāja modelī;
  - mācību satura pielāgošana lietotājam;
  - mācību plāna pielāgošana lietotājam;
  - lietotājam pielāgota mācību satura automatiska ģenerēšana;
  - lietotājam pielāgota mācību plāna automatiska ģenerēšana.
- Programmatūra atbalsta jauna mācību satura veidošanu, nododot satura veidošanas tiesības noteiktai lietotāju grupai:
  - jauna satura veidošanas iespējas;
  - sistēmas esošo datu kopas izmantošana mācību satura veidošanai;
  - mācību kursa pasniegtās informācijas indeksācija;
  - automatizēta savstarpēji saistītas informācijas savienošana (hipersaites) mācību satura struktūras pilnveidošanai;
  - automatizēta lietotājam pielāgotu zināšanu pārbaudes testu veidošana.
- Programmatūra atbalsta izstrādāta mācību satura pārneses iespējas citās mācību platformās:
  - mācību kursa eksportēšanas/importēšanas iespējas MPS kontekstā;
  - lietotāja modeļa eksportēšanas/importēšanas iespējas MPS kontekstā;
  - starpproduktu informācijas eksportēšanas/importēšanas iespējas;
  - eksporta datņu formāta pielāgošanas iespējas;
  - servisu nodrošināšana datu iegūšanai/ izgūšanai no MPS.

Izvēloties MPS, salīdzinājumam tika noteikts nosacījums, ka sistēmai jābūt atvērta koda programmatūrai, kas ļauj pārvaldīt mācību procesu, nodrošināt sistēmas procesu vadību, izmantojot ārējas sistēmas, un kontrolēt izveidoto mācību saturu. Komerciālie produkti galvenokārt nodrošina ierobežotu funkcionalitāšu klāstu bez iespējām brīvi pielāgot sistēmu katra projekta specifikai. Pamatojoties uz 1.1. tabulas datiem, tika atlasītas sistēmas, kas atbilst iepriekš definētajām prasībām.

## ***Learnpress***

*Learnpress* AMPS ir *Wordpress* sistēmas integrācijas modulis, kas realizē lietotāja apmācības vadību, izmantojot satura kopas modeli (*WordPress*, 2022). Mācību saturs tiek pasniegts saskaņā ar mācību kursa autora definētām prasībām un nodrošina mācību procesa vadību, izmantojot adaptīvas kursa programmas plānošanas algoritmu. *Learnpress* AMPS izmanto *Wordpress* funkcionalitāti lietotāja modeļa pārvaldībai. Mācību procesa laikā, izmantojot programmatūras nodrošinājuma funkcionalitāti, mācību kursa autors var definēt katra moduļa apguves nosacījumus. Pamatojoties uz regulāru zināšanu pārbaudi vai mācību aktivitāšu izpildes nosacījumiem, izglītojamais mācību plāna apguves laikā saņem piekļuvi noteiktam satura moduļim. Mācību moduļi tiek apgūti, izmantojot ierobežotas navigācijas

iespējas, kas ļauj izvēlēties iepriekšējo vai nākamo moduli. Uz satura kopas modeļa balstītas sistēmas neparedz mācību procesa pilno mācību programmas satura attēlošanu, bet ģenerē satura rādītāju pēc apguves procesa izpildītam aktivitātēm.

Izglītojamā mācību procesa sasniegumi tiek attēloti reālā laikā un var saturēt 4 informatīvus paziņojumu veidus (*WordPress*, 2022).

1. Mācību kursa apguves stāvoklis – informatīvs paziņojums, kas procentu formātā izvada mācību moduļa apguves procesu, pamatojoties uz izpildīto aktivitāšu skaita attiecību pret neizpildītajām aktivitātēm. Sistēma nesadala aktivitātes pēc patērētā laika vai to sarežģītības līmeņa.
2. Aktuālais mācību modulis – sistēma attēlo aktuālo mācību moduli un izpildīto aktivitāšu satura rādītāju.
3. Mācību moduļa satura apguves grūtības pakāpe – statistiska vērtība, kas nosaka moduļa apguves grūtības līmeni, kurš ir definēts, ņemot vērā eksperta (mācību kursa autora) viedokli. Mācību moduļa grūtības pakāpe *Learnpress* sistēmā ir informatīvs paziņojums un netiek izmantots mācību plāna ģenerēšanas laikā.
4. Mācību aktivitāšu izpildes laiks – izglītojamā darbības pārraudzības sistēma, kura ļauj kontrolēt katra mācību moduļa apguvei patērēto laiku. *Learnpress* pamatfunkcionalitātē izmanto tikai aktīvas sesijas laika vienības, kas norāda lietotāja aktivitātes laiku katrā konkrētā darbības sesijā – laiks, cik tīmekļa vietnes lapas ir attēlotas uz ekrāna un lietotāja veiktās darbības, kuras ir atļautas noteiktajos lapas ietvaros.

Izmantojot 1.8 sadaļā izvirzītus kritērijus, tika izveidota atbilstības validācijas metodika, kas nosaka, kura no apskatītajam atvērtā koda MPS nodrošina mācību procesa pārvaldību un mācību satura veidošanu saskaņā ar lietotāja izvirzītajām prasībām.

1.2. tabula

*Learnpress* MPS novērtējums

Uzdevumu apraksts	Novērtējums
Programmatūra atbalsta attālināta mācību procesa nodrošinājumu	5
Programmatūra nodrošina izpildīto aktivitāšu pārraudzību	4
Programmatūra atbalsta lietotāja modeļa izstrādi un vadību mācību programmu apguves laikā	2
Programmatūra atbalsta autonomu jaunā mācību satura veidošanu, nododot satura veidošanas tiesības noteiktai lietotāju grupai	1
Programmatūra atbalsta izstrādātā mācību satura pārneses iespējas citās mācību platformās	1

No 1.2. tabulas var redzēt, ka aprakstītā MPS nenodrošina adaptīva mācību plāna pielāgošanu lietotājam, bet mācību process tiek nodrošināts, izmantojot iepriekš definētu mācību kursa struktūru, ņemot vērā izglītojama zināšanas līmeni.

## **Moodle**

*Moodle* ir PHP valodā programmēts produkts, kas darbojas, izmantojot individuālas struktūras atvērtu datubāzi. Sistēma izmanto mācību kursa attēlošanu, lietotāja apmācības vadību un freimu satura modeli. Mācību saturs tiek pasniegts, pamatojoties uz sistēmā definētiem nosacījumiem informācijas attēlošanai noteiktā laika periodā. *Moodle* izmanto lietotāja modeli, lai kontrolētu mācību moduļu pasniegšanas secību. Mācību procesa laikā, izmantojot programmatūras funkcionalitāti, kursa autors var definēt katra moduļa apguves nosacījumus, proti, moduļa apguves uzsākšanas un beigšanas laiku. Sistēmā var redzēt, vai modulis ir vai nav izpildīts pilnībā. MPS nenodrošina mācību plāna pielāgošanu izglītojama vajadzībām un spējām, bet var nodrošināt mācību procesu, izmantojot iepriekš definētu mācību plānu. Izglītojama izvēlas mācību aktivitātes, izmantojot ierobežotas navigācijas iespējas, neievērojot kursa mācību plāna secību (*Moodle*, 2022).

Izglītojamā mācību procesa sasniegumi atjaunošanas intervāls ir noteikts, ņemot vērā servera procesu izpildes intensitāti un servera kopējo noslodzi. Dati par izpildīto aktivitāti tiek saglabāti datubāzē, kas ļauj mainīt attēlotās informācijas kopas katram izglītojamam. Servera konfigurācijas sistēmas pārvaldības procesā nodrošina visu lietotāju datu kopsavilkumu, izpildot katras aktivitātes validācijas procesus autonomā režīmā (angļu valodā – *cron jobs*). Lielas servera noslodzes gadījumā validācijas procesu izpilde var aizņemt vairāk laika, kas ietekmēs rezultātu attēlošanas kvalitāti mācību procesa administratoram datu kopsavilkumu režīmā.

*Moodle* datubāze satur tikai mācību aktivitātes izpildes indikatorus (*True / False*), kas neļauj detalizēti apskatīt katras izpildītās aktivitātes parametrus. Ņemot vērā sistēmas ierobežojumus, *Moodle* nodrošina 2 mācību procesa uzraudzības paziņojumus (*Moodle*, 2022):

1. Mācību aktivitātes apguves stāvoklis – informatīvs paziņojums, kurā informācija tiek attēlota, izmantojot indikācijas paziņojumu kursa apskates laikā. Mācību kursa administratoram ir pieejams detalizēts pārskats, kas norāda katras aktivitātes izpildes stāvokli – zināšanu pārbaudes norāda testa izpildes novērtējumu procentos, mācību aktivitātes tiek attēlotas, izmantojot *True / False* stāvokļa attēlošanu.
2. Aktuālais mācību modulis – sistēmā attēlo aktuālo mācību moduli un izpildīto aktivitāšu satura rādītāju.

Veicot *Moodle* sistēmas izpēti tika analizēts, cik no izvirzītajiem kritērijiem atbilst noteikto uzdevumu izpildei saskaņā ar 1.8. sadaļā definētajiem novērtēšanas kritērijiem.

1.3. tabula

*Moodle* MPS novērtējums

Uzdevumu apraksts	Novērtējums
Programmatūra atbalsta attālināta mācību procesa nodrošinājumu	5
Programmatūra nodrošina izpildīto aktivitāšu pārraudzību	3

## 1.3. tabulas turpinājums

Programmatūra atbalsta lietotāja modeļa izstrādi un vadību mācību programmu apguves laikā	3
Programmatūra atbalsta autonomu jaunā mācību satura veidošanu, nododot satura veidošanas tiesības noteiktai lietotāju grupai	4
Programmatūra atbalsta izstrādātā mācību satura pārnesei iespējas citās mācību platformās	3

1.3. tabulā ir redzams, ka *Moodle* nodrošina autonomu mācību plāna veidošanu, bet nenodrošina izpildīta mācību procesa pārraudzību ņemot vērā izglītojamā zināšanu līmeni un īpašības. Ir secināts, ka autonoma mācību plāna veidošana nav iespējama bez izglītojamā izpildīto aktivitāšu uzskaites.

**H5P**

H5P (*HTML5 Package*) ir spraudņu rīks, kas paredzēts mācību satura izstrādei un neparedz izglītojama sasnieguma analīzi un uzglabāšanu. H5P pamatā tiek izmantota *Javascript* valoda, kas nodrošina interaktīva satura izveidi, koplietošanas iespējas un izpildītā procesa pārraudzību. Spraudņu rīks var būt integrēts esošajās MPS un nodrošina autonomu mācību aktivitāšu kontroli un vadību. Mācību saturs tiek pasniegts, pamatojoties uz MPS darbības modeli, bet aktivitātes ietvaros mācību kursa administrators var norādīt aktivitāšu izpildes nosacījumus, kas tiek pārraudzīti reālā laikā (izpildes laiks, aktivitātē pavadītais laiks, darbības kontrole, klātbūtnes kontrole utt.) (*H5P, 2022*). Mācību procesa laikā, izmantojot programmatūras funkcionalitāti, mācību kursa autors var definēt katras aktivitātes apguves nosacījumus, kas var būt integrēti arī mediju datnēs.

H5P nenodrošina mācību plāna attēlošanas un ģenerēšanas funkcionalitāti. Šis uzdevums tiek izpildīts MPS līmenī.

H5P platforma nodrošina 2 mācību procesa uzraudzības paziņojumus (*H5P, 2022*):

1. Mācību aktivitātes apguves stāvoklis – informatīvs paziņojums, kas uzglabā informāciju par aktivitātes apguvi. Informācija tiek uzglabāta, izmantojot indikācijas paziņojumu atbilstoši katrai aktivitātei, kas nodrošina izglītojama zināšanu līmeņa noteikšanu, apgūstot noteiktu mācību vielu.
2. Aktuālais mācību modulis – sistēmā attēlo mācību plāna apguves secībai aktuālo mācību moduli un izpildīto aktivitāšu satura rādītāju.

Veicot H5P izpēti tika analizēts, cik no izvirzītajiem kritērijiem atbilst noteikto uzdevumu izpildei saskaņā ar nodaļā definētajiem novērtēšanas kritērijiem.

## 1.4. tabula

## H5P novērtējums

Uzdevumu apraksts	Novērtējums
Programmatūra atbalsta attālināta mācību procesa nodrošinājumu	3



Programmatūra nodrošina izpildīto aktivitāšu pārraudzību	5
Programmatūra atbalsta lietotāja modeļa izstrādi un vadību mācību programmu apguves laikā	1
Programmatūra atbalsta autonomu jaunā mācību satura veidošanu, nododot satura veidošanas tiesības noteiktai lietotāju grupai	1
Programmatūra atbalsta izstrādātā mācību satura pārnesei iespējas citās mācību platformās	2

Kā redzams no 1.4. tabulas apkopotās informācijās, H5P nodrošina daļēju izpildīto aktivitāšu pārraudzību. Kā tika minēts iepriekš, H5P ir integrējamais rīks, kas nenodrošina mācību plāna izpildes kontroli, bet tikai satura veidošanu, kas ietver sevī interaktīvu elementu izmantošanu mācību procesa apguves laikā.

Ir secināts, ka adaptīvo mācību procesa nodrošināšana balstās uz izglītojamā izglītības datiem. H5P nodrošina nepieciešamo informāciju lietotāja modeļa pilnveidošanai, bet nenodrošina mācību kursa pārvaldības funkcionalitāti, kas neļauj šo platformu klasificēt kā pilnvērtīgu AMPS.

## 1.9. Pirmās nodaļas kopsavilkums

Nodaļā veiktais literatūras apskats parādīja, ka mācību pārvaldības sistēmās plāna veidošana balstās uz 3 pamatprincipiem:

- 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 satur metadatu kopu, kura ir nepieciešama algoritmu izmantošanai, lai veidotu plānu mācību procesa laikā.

Analizējot lietotāja ietekmi uz AMPS darbību, ir identificēta nepieciešamība noteikt izglītojamā parametrus nākamā mācību moduļa izvēlei. Katrai mācību programmai atkarībā no definētiem uzdevumiem izglītojamā modeļa veidošanai tiek izmantotas dažādas pieejas, ko ietekmē mācību programmas zināšanu pasniegšanas vadlīnijas (*Volanskaja, 2002; Bul, 2003*).

Veicot adaptācijas modeļa apskatu, tika secināts, ka esošās MPS 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.

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 uz freima satura modeļa struktūru. 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.

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.

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 novērtēšanas modelis iekļauj vairākus komponentus un algoritmus programmā apskatīto kompetenču zināšanu līmeņa novērtēšanai mācību procesa īstenošanas laikā:

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

Ir aprakstīta mācību plāna dzīves ilguma ietekmējošo faktoru noteikšana, kas tiek izmantota plāna ģenerēšanā:

- zināšanu aizmiršanas noteikšanas metode;
- tehniskā nodrošinājuma ietekmes parametra noteikšana.

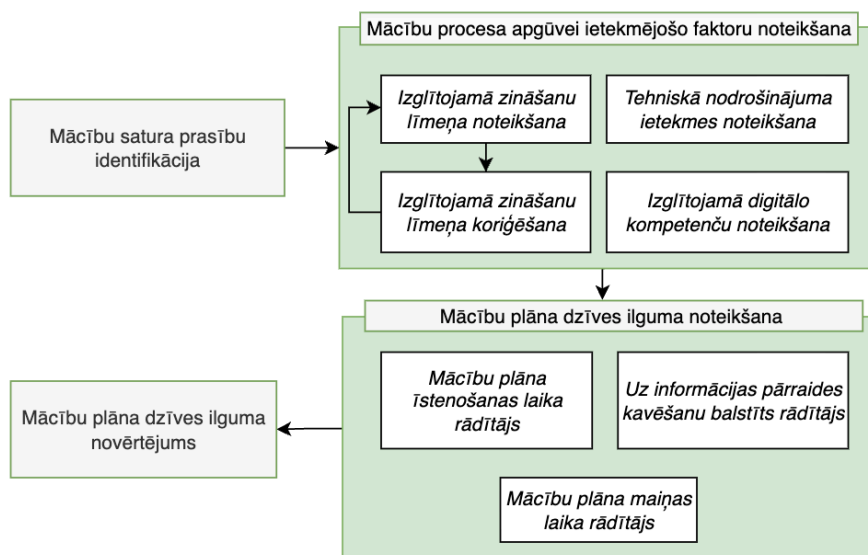
Detalizēti ir apskatīts plāna izstrādes uzdevums, kas nosaka mācību komponentu secības prasības un ierobežojumus programmas apguves laikā. Mācību plāna ģenerēšanai ir izstrādāta plāna dzīves ilgumu ietekmējošo faktoru noteikšanas metode, kas balstās uz zināšanu līmeņa noteikšanu un digitālā satura pārraides kvalitāti, kas nosaka nepieciešamību pielāgot mācību plānu izglītojamā vajadzībām.

Nodaļas noslēgumā ir apskatīts plāna ģenerēšanas uzdevums, kas, izmantojot mācību plāna dzīves ilguma ietekmējošos faktorus, nosaka to ģenerēšanas posmus. Algoritma izpildei ir definēti ierobežojumi plāna ģenerēšanai, kas ir saistīti ar mācību procesu ierobežojošiem faktoriem, ņemot vērā izglītojamā zināšanu līmeņa novērtēšanas datus.

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

Modeļa izmantošana sastāv no šādiem posmiem.

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 moduļim atvēlēto laiku un laiku, kad izglītojamā zināšanu līmenis atrodas zem mācību kursā definētajām minimālajām prasībām, tiek inicializēts plāna pārgenerēšanas algoritms.



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

Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modeļa atsevišķo metožu un komponentu saistību diagramma ir attēlota 2.1. attēlā, kura elementi sīkāk ir raksturoti turpmākajās apakšnodaļās.

## 2.1. Izglītojamā zināšanu līmeņa noteikšana

Izglītojamā zināšanu līmeņa noteikšana ietver no trīs modeļu pielietojumu:

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

### 2.1.1. Uz zināšanu līmeni balstīts kompetenču noteikšanas modelis

Izglītojamais mācību procesa īstenošanas laikā pilnveido savas zināšanas, apgūstot jaunas kompetences.

Mācību programmas apgūšana balstās uz sasniedzamo rezultātu, kas tiek noteikts ar kompetenču kopu, ko izglītojamais apgūst mācību procesa īstenošanas laikā. Mācību kurss  $K$  sastāv no moduļiem  $M$  (teorētiskajām tēmām) un zināšanu pārbaudes moduļiem  $Q$ , kas nosaka konkrēta moduļa apguves pakāpi.

Kursa apguves laiks ir sistēmā definētais laiks, kas ir nepieciešams ietverto kompetenču apgūšanai mācību kursa ietvaros. Kursa aprakstā var būt izmantoti divi papildus kritēriji, kas nosaka mācību kursa apguves minimālo un maksimālo atļauto laiku.

Mācību kursa struktūru veido moduļi, kas nodrošina informācijas pasniegšanas procesu un ietver sevī moduļa apguves prasības (nepieciešamo laiku, zināšanas un kompetences). Promocijas darbā modulis ( $M$ ) ir aprakstīts kā četru elementu kopa:

$$M_i = \{tM_i, csT_i, c'T_i, Dk\}, \quad (2.1.)$$

kur  $tM_i$  – laiks, kas ir nepieciešams i-tā moduļa apguvei,  
 $csT_i$  – nepieciešamais zināšanu līmenis i-tā moduļa apguvei,  
 $c'T_i$  – zināšanu līmeņa pieaugums pēc moduļa apgūšanas,  
 $Dk$  – *DigiComp* kompetenču zināšanu līmenis.

*DigiComp (The Digital Competence Framework for Citizens)* nodrošina vienotu digitālo prasmju kompetenču novērtējumu. (*EU Science Hub, 2022*).

Mācību kursa apgūšanas novērtējums tiek realizēts ar zināšanu pārbaudes metodēm, no kurām viena ir tests (*Jonāne, 2011*). Tests ir zināšanu un izpratnes pārbaude ar dažāda veida uzdevumiem, izmantojot uzdevumus ar piedāvātiem atbilžu variantiem (*Vagale, 2017*). Testi ir izmantojami gan ievadvērtēšanā, gan formatīvā vērtēšanā, gan summātīvā vērtēšanā (*Daniela u. c., 2018*). Tiek uzskatīts, ka testi ir īpaši piemēroti zināšanu vērtēšanai attālinātu mācību gadījumos (*Vagale, 2017; Daniela u. c., 2018*).

Pastāv daudz viedokļu par testēšanas sistēmām. Par galveno klasiskās testēšanas sistēmas trūkumu tiek uzskatīta gala rezultāta iegūšanas metodika, kurā izglītojamais izvēlas pareizo atbildi no piedāvāto variantu kopas, kas nemotivē cilvēku pašam definēt atbildi vai izveidot loģisku ķēdi problēmu risināšanai. Tieši tāpēc testēšana ne vienmēr ļauj objektīvi noteikt izglītojamā zināšanu līmeni. Darbos (*Jurenoks, 2017; Jurenoks u. c., 2017*) ir aprakstīts, ka, veicot izglītojamā zināšanu pārbaudi, var izmantot atvērto jautājumu vai testus ar slēgtiem jautājumiem. Slēgtie jautājumi dod iespēju izvēlēties no diviem vai vairāk atbilžu variantiem, bet atvērti jautājumi atbildi saņem no respondenta, to neietekmējot un paredzot tukšu vietu izvērstai atbildei (*Enciklopēdija, 2022*). Iegūtie rezultāti, izmantojot testos slēgtos jautājumus, ir par 48% labāki, nekā izmantojot atvērto jautājumu formu (*Jurenoks, 2017*). Promocijas darbā zināšanu pārbaudes modulis ( $Q$ ) ir aprakstīts kā četru elementu kopa:

$$Q_i = \{tQ_i, csQ_i, c'Q_i, cT_i\}, \quad (2.2.)$$

kur  $Q_i$  – ī-tais zināšanu pārbaudes modulis,  
 $tQ_i$  – laiks, kas ir nepieciešams testa izpildei,  
 $csQ_i$  – nepieciešamais zināšanu līmenis testa aktivizācijai,  
 $c'Q_i$  – zināšanu līmeņa pieaugums pēc testa izpildes,  
 $cT_i$  – zināšanu līmenis mācību kursa ietvaros.

Mācību procesa laikā informācija par tā izpildi tiek uzglabāta izglītojamā modelī:

$$U = \{kU, cU, UH\}, \quad (2.3.)$$

kur  $kU$  – izglītojamā esošais zināšanu līmenis;  
 $cU$  – datu kopa, kas attēlo izglītojamā katrai kompetencei atbilstošu zināšanu līmeni;  
 $UH$  – zināšanu līmeņa izmaiņu vēsture par katru izpildīto aktivitāti.

Mācību kursa izpildi var ierobežot divi kritēriji: kopējais laiks kursa apguvei  $t_k$ , kas tiek noteikts, pamatojoties uz mācību procesa uzsākšanas laiku  $t_{start}$  un mācību procesa pabeigšanas laiku  $t_{end}$  un sasniegtais kompetences zināšanu līmenis  $U\{cU[i]\} \geq K[c_i]$ , kur  $K[c_i]$  ir mācību kursa kompetences nepieciešamais sasniedzamais zināšanu līmenis.

Lai mazinātu informācijas apstrādi mācību plāna ģenerēšanas laikā, promocijas darbā ir

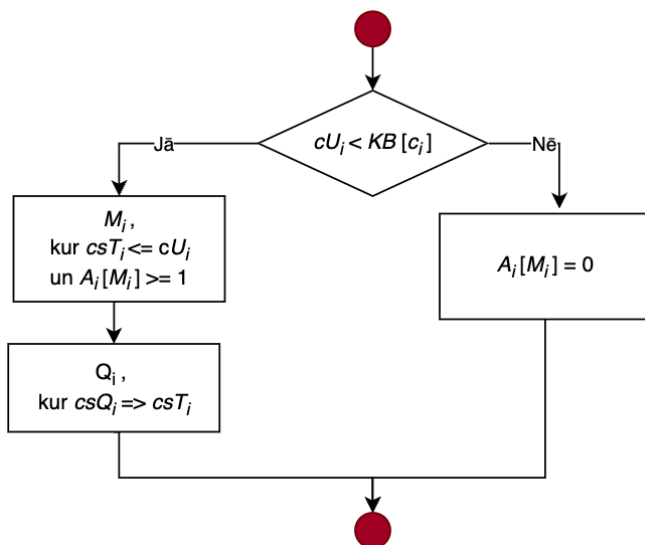
piedāvāts pamatot plāna ģenerēšanu uz neapgūtās moduļu kopas:

$$KB = \{A_i, cK_i\}, \quad (2.4.)$$

kur  $A_i$ - kursa elements, kas sevī ietver mācību kursa aktivitātes,  $A_i \in \{M_i, Q_i\}$ ;

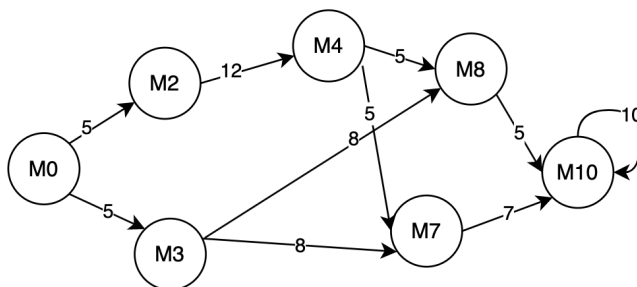
$cK_i$ - nepieciešamo apgūto kompetenču kopa mācību aktivitātes apgūšanai.

Parametru  $cK_i$  nosaka eksperti, balstoties uz mācību programmas apgūšanas prasībām. Ja izglītojamā apgūtās kompetences  $cU_i$  par noteiktu tematiku ir mazākas par mācību programmas prasībām, tad tiek uzskatīts, ka izglītojamais nav apguvis noteiktās kompetences un ir nepieciešams ģenerēt mācību aktivitāti noteiktās kompetences apgūšanai. Ja izglītojamā apgūtās kompetences  $cU_i$  zināšanu līmenis par noteiktu tematiku ir vienādas vai lielākas par mācību programmas prasībām, tad kompetence tiek uzskatīta par apgūtu. Mācību aktivitātes ģenerēšanas algoritms ir attēlots 2.2. attēlā.



2.2. att. Mācību aktivitātes ģenerēšanas algoritms.

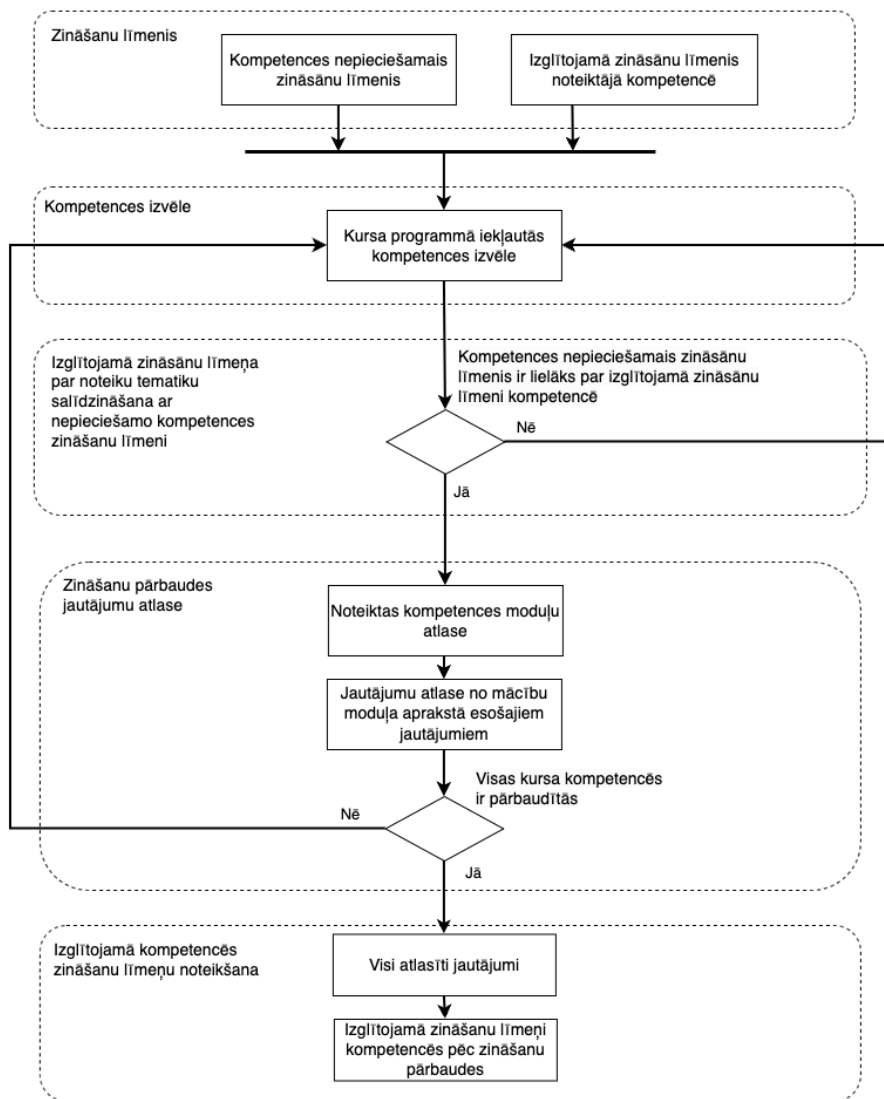
Mācību plāna ģenerēšana ir process, kas ir saistīts ar mācību plāna izstrādi ar mērķi palielināt iegūto zināšanu apjomu katrā apskatāmajā kompetencē. Mācību plāna reprezentācijai tiek izmantots svērts grafs, kas sastāv no virsotņu kopas (atbilst mācību moduļiem) un šķautņu kopas ar svāriem, kas norāda uz nepieciešamo laiku moduļa izpildei (2.3. att.) (Shi u. c., 2020; Ettorre u. c., 2022).



2.3. att. Mācību plāna reprezentācija izmantojot svērtu grafu.

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 var reprezentēt ar svērtu grafu. Promocijas darbā mācību plāns  $MP$  ietver sevī moduļu kopas apgūšanas secību  $MP\{M_i\}$ , kur  $i=1,2,..n$ .

Mācību kursa īstenošanas laiks var tikt samazināts, kas ļauj, veidojot moduļu kopu, tajā iekļaut tikai mācību procesam nepieciešamo moduļu skaitu. Izglītojamam mācību laikā tiek palielināts kompetenču zināšanu līmenis, pamatojoties uz katra moduļa kompetenču zināšanu līmeņa pieauguma koeficientu, kā arī izglītojamam konkrētajā mācību procesa brīdī var noteikt, kādas kompetences jau ir apgūtas.



2.4. att. Uz zināšanu līmeni balstīts kompetenču noteikšanas modelis.

Zināšanu līmeņa noteikšanai tiek ģenerēts tests, kas papildināts ar moduļa aprakstā esošajiem jautājumiem (2.4. att.). Veicot zināšanu pārbaudes testu, sistēma identificē izglītojamā zināšanu līmeni katrā kompetencē.

### 2.1.2. Uz kompetencēm balstīts zināšanu līmeņa noteikšanas modelis

Zināšanu līmeņa pārbaudei ir nepieciešams zināšanu līmeņa novērtējums atbilstoši katrai mācību kompetencei. Pašlaik izglītības iegūšanas procesa laikā zināšanas līmenis tiek novērtēts trīs izglītības procesa posmos (Jonāne, 2011):



- ievadvērtēšana - zināšanu novērtējums, uzsākot mācību procesu;
- formatīva vērtēšana - zināšanu novērtējums moduļa apgūšanas laikā;
- summatīva vērtēšana - zināšanu novērtējums, noslēdzot mācību procesu.

Tiešsaistes zināšanu pārbaudes procesa uzdevums ir samazināt izglītojamā zināšanu līmeņa kļūdainu novērtējumu ietekmējošus faktorus, kas saistās ar neviennozīmīga testa uzdevuma formulējumu vai nestandarta/neidentificētas atbildes ierakstu.

Zināšanu pārbaudes process veic izglītojamā esošo zināšanu līmeņa noteikšanu  $User(c_i)$ , kas tiek salīdzināts ar mācību programmas nepieciešamā zināšanu līmeņa noteiktajos posmos  $St_1, St_2, \dots, St_n$ . Zināšanu līmeņa noteikšanas modelis nevar ņemt vērā tikai izglītojamā zināšanu līmeņa atbilstību konkrētajam programmas posmam  $St_n \leq User(c_i)$ . Ir situācijas, kad izglītojamais, veicot pārbaudi par noteiktu tematiku, ir sasniedzis minimālo nepieciešamo punktu skaitu zināšanu pārbaudes testā  $St_n = \min(Q_n)$ , bet viņa/viņas esošais zināšanu līmenis ir mazāks par noteikta posma prasībām  $User(c_i) < St_n$ . Iemesls var būt, ka zināšanu pārbaudes  $Q_n$  scenārijs var būt izvēlēts kļūdaini, nepareizi klasificējot izglītojamā esošo zināšanu līmeņa atbilstību noteiktam mācību programmas posmam.

Pašlaik AMPS izmanto stohastiskās matricas izglītojamā zināšanu līmeņa novērtējuma uzglabāšanai (Fotakis u. c., 2020; Chen, 2008)

$$PU = \begin{matrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1y} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2y} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{x1} & P_{x2} & \dots & P_{xy} \end{matrix}$$

kur  $PU$  - izglītojamā zināšanu līmeņa novērtējuma dati;

$P_{xy}$  – iegūtais zināšanu līmenis katrā mācību kompetencē iekļautajā aktivitātē.

Izglītojamā zināšanu noteikšanas modelis balstās uz starpposmu novērtējumu par katru tematiku, ņemot vērā divus kritērijus:

- maksimālo iespējamo zināšanu pārbauzu skaitu katrai tematikai, kas visā mācību kursā visām tēmām ir vienāds;
- maksimālo sasniedzamos punktu skaitu, kas nosaka noteiktas tēmas rezultāta sasniegšanu.

Zināšanu līmeņa novērtējuma raksturojošo katra parametra vērtību var izteikt, izmantojot nosacījumu 2.5.

$$P_{xy} \geq 0, \sum_{x=1}^n P_{xy} \leq 1. \quad (2.5.)$$

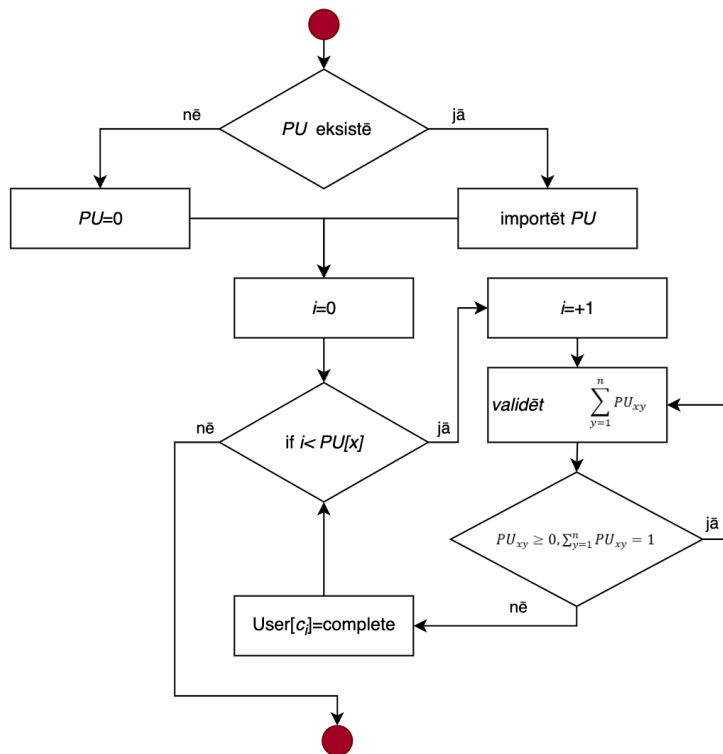
Novērtējot zināšanas, ir jāņem vērā nosacījums, ka katras aktivitātes vērtēšanas rezultātā iegūtā vērtība ir lielāka vai vienāda ar nulli  $P_{xy} \geq 0$ , kas nosaka izglītojamā zināšanu līmeņa pieauguma vērtību tā aktivitātes izpildes gadījumā.

Veiksmīgs mācību plāna apguves process balstās uz nosacījumu, ka izglītojamam ir pietiekams izpildāmo aktivitāšu skaits nepieciešamo rezultātu sasniegšanai mācību tēmas ietvaros (2.6. formula).

$$\sum_{x=1}^n P_{xy} = 1 \quad (2.6.)$$

Zināšanu pārbaudes modeļa integrācijai AMPS ir nepieciešams izmantot klasifikatorus, kas

identificē mācību kompetences apgūšanas līmeni, pamatojoties uz kompetenču apgūšanas procesu ietekmējošo faktoru izpildi. Zināšanu līmeņa noteikšanas algoritms ir attēlots 2.5. attēlā.



2.5. att. Uz kompetencēm balstīts zināšanu līmeņa noteikšanas algoritms.

Algoritma izpildes laikā sistēma identificē esošo izglītojamā zināšanu līmeņa novērtējuma raksturojošo parametru  $PU$ . Algoritms turpina savu darbu, kamēr netiek noteikts visu mācību kursā iekļauto kompetenču  $User[c]$  zināšanu līmenis.

### 2.1.3. Zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modelis

Promocijas darbā veiktais pētījums apliecina, ka pastāv apgūto zināšanu aizmiršanas iespējamība (*Jurenoka un Grundspeņkis, 2023*). Tas nozīmē, ka pēc noteiktas kompetences mācību aktivitātēm, ko izglītojamais ir apguvis, zināšanu līmenis var samazināties, ņemot vērā laiku, kas ir pagājis no kompetenču apgūšanas brīža. Mācību procesa īstenošanas laikā, ja tematika, kas ir saistīta ar apgūtajām kompetencēm, neatkārtojas, tad izglītojamais aizmirst līdz 35% no iegūtajām zināšanām (pētījums ir veikts VIAA mācības pieaugušajiem projekta ietvaros - studiju kursā “Finanšu datu analīzes”). Zināšanu līmeņa prognozēšanai var izmantot Bajesa tīklus, lai noteiktu varbūtību, kādas ir izglītojamā zināšanas. Pētījumos (*McNaught un Zagorecki, 2009; Hlopotov, 2014*) aprakstīts, ka Bajesa tīkls nedod lielu precizitāti datu prognozēšanai, tādēļ ir nepieciešams veikt papildus aprēķinus izglītojamā zināšanu līmeņa

noteikšanai. Lēmuma pieņemšanai var izmantot mašīnmācīšanās algoritmus, bet sistēmās ar lielu mācību moduļu skaitu (1000 un vairāk) ir nepieciešams liels mācību plāna skaits, kas sistēmās jaunajām mācību programmām nevar tikt sasniegts. Tādēļ jaunajiem mācību kursiem ir jāizmanto statistiski modeļi, tādus kā Bajesa tīklus, vai modeļi, kas balstās uz zināšanu aizmiršanu (Haritonov, 2022).

Zināšanu aizmiršanas modeļa pētījumi tika uzsākti 19. gadsimta beigās. Pētnieks Hermanis Ebingauzs izstrādāja eksperimentālās metodes atmiņas izpētei un piedāvāja modeli (2.7. formula), kas nosaka iepriekš apgūtās informācijas aizmiršanas koeficienta aprēķinu (Turilova-Miščenko, 2012).

$$Kn(t) = \frac{k}{\lg t + c}, \quad (2.7.)$$

kur  $Kn(t)$  - zināšanu aizmiršanas apjoma koeficients,

$k=1,84$  un  $c=1,25$  gadījumos, ja laiks  $t$  ir izteikts minūtēs (Lange, 1983).

Zināšanu aizmiršanas apjoma koeficients ir individuāls katram izglītojamam. Pamatojoties uz promocijas darba izstrādes laikā veikto analīzi, izglītojamo zināšanu aizmiršanas laiks ir individuāls un nav iespējams izmantot vienu koeficientu visiem sistēmas lietotājiem. Lai praksē pārbaudītu darbā (Lange, 1983) aprakstītos koeficientus, tika veikta izglītojamo testēšana, lai pārbaudītu jaunas vielas apgūšanā sasniedzamo rezultātu dažādām izglītojamo kategorijām. Tika pieņemts, ka, apgūstot jaunu tēmu, kādā no mācību kursiem, kurā jau notiek mācību process, izmantojot vizuālā veidā dotu digitālu mācību materiālu, izglītojams apgūst 100%. Lai noteiktu zināšanu aizmiršanas apjoma procentu pēc noteiktā laika, tika veiktas divas testēšanas, kas pārbaudīja izglītojamā aizmirstās informācijas apjomu. Testēšana tika veikta intervālā 24–36 stundas un 120–135 stundas pēc mācību vielas apgūšanas. Testēšanas laiks ir izvēlēts, pamatojoties uz mācību vielas pasniegšanas intensitāti, kas apskatītajam mācību kursam bija viena nodarbība vienu reizi nedēļā.

2.1. tabula

Zināšanu aizmiršanas apjoms mācību procesa īstenošanas laikā

Aktivitātes nosaukums	Vecuma grupa	Zināšanu aizmiršanas apjoms (1440 minūtes vai 1 diena)	Zināšanu aizmiršanas apjoms (7200 minūtes vai 5 dienas)
Jauna tēma informātikas stundas ietvaros vidusskolas mācību programmā	16 gadi	20%–35%	30%–80%
Jauna tēma B kategorijas vadītāja teorētiskajā apmācības programmā	18–20 gadi	10%–28%	15%–40%
Jauna tēma studiju kursa “Lietojumprogrammatūras automatizēšanas rīki” ietvaros	18–20 gadi	30%–40%	30%–80%
Jaunā tēma pieaugušo izglītības projekta “mācībspieaugušajiem.lv kursa “Robottehnikas pamati” ietvaros	25–45 gadi	35%–45%	40%–60%

Kā redzams 2.1. tabulā, zināšanu aizmiršanas apjoms ir atšķirīgs katrai individuālai grupai, un nav iespējams 2.7. formulā izmantot  $k$  un  $c$  parametra vērtības kā konstantes. Lai noteiktu  $k$  un  $c$  vērtību, katram izglītojamām ir nepieciešams identificēt iegūto zināšanu aizmiršanas apjoma koeficientu  $Kn(t)$  divos laika momentos. Tiek pieņemts, ka, apgūstot jauno mācību vielu, izglītojamais iegūst zināšanas 100% apjomā. Attiecīgi var uzskatīt, ka  $Kn(0) = 1$ . Zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanai tiek ieviests mainīgais  $fr$ , kas nosaka intervālu starp mācību vielas apgūšanas nodarbībām laika periodā  $t$ .

Ir zināms, ka cilvēka atmiņai ir 5 veidi (Brewer un Pani, 1983; Schmidtke, 2002): skārienatmiņa, eidētiskā atmiņa, sociālā atmiņa, topogrāfiskā atmiņa un mācību kontekstā izmantotā ilgtermiņa un īslaicīgā atmiņa. Promocijas darbā par apgūto mācību vielu tiek uzskatītas tikai tās zināšanas, kas ir saglabātas ilgtermiņa atmiņā.

Nosakot zināšanu aizmiršanas apjoma aprēķina metodi, strādājot ar mazām laika vienībām, izmantojot 2.7. formulu, nevar iegūt rezultātu, jo, pamatojoties uz (Kocukova, 2015) pētījumiem, izglītojamiem ir nepieciešams minimālais laiks  $t = 360$  (minūtes) informācijas apstrādei, veidojot asociācijas, ņemot vērā katra izglītojamā informācijas atcerēšanās īpatnībām. Jāievieš intervāla nosacījumu, kas nosaka zināšanu aizmiršanas apjoma koeficientus  $Kn(t_1)$  un  $Kn(t_2)$ , veicot izglītojamā testēšanu, lai pārbaudītu zināšanu līmeni atbilstošajā tematikā.

$$Kn(t_1) = \begin{cases} fr < 1440, t_1 = 360 \\ fr > 1440, t_1 = fr/5 \end{cases} \quad (2.8.)$$

kur  $t_1$  – laiks, kad tiek veikta pirmā zināšanu pārbaude (minūtes),

$fr$  – intervāls starp mācību vielas apgūšanas nodarbībām laika periodā  $t$  (minūtes).

Kā jau tika minēts iepriekš, pirmā zināšanu aizmiršanas apjoma pārbaude, nosakot koeficientu  $Kn(t_1)$ , ir jāveic ne ātrāk kā pēc 360 minūtēm pēc mācību vielas apgūšanas (2.8. formula). Promocijas darbā tiek uzskatīts, ka minimālais intervāls starp mācību nodarbībām ir 1440 minūtes. Balstoties uz veikto analīzi, ir secināts, ka apgūtās informācijas pirmā zināšanu pārbaude ir jāveic laikā, kas ir 1/5 no intervāla  $fr$ , kas ir pavadīts starp mācību moduļa apguvi, bet ne ātrāk ka 6 stundas pēc tēmas apgūšanas. Izpildot nosacījumu, tiek pieņemts, ka intervāls  $fr$  ir nemainīga vērtība, kas ir noteikta kursa apgūšanas sākumā un netiek mainīta visa kursa laikā.

$$Kn(t_2) = \begin{cases} fr < 1440, t_1 = 1440 \\ fr > 1440, t_1 = fr \end{cases} \quad (2.9.)$$

kur  $t_2$  – laiks, kad tiek veikta otrā zināšanu pārbaude (minūtes),

$fr$  – intervāls starp mācību vielas apgūšanas nodarbībām laika periodā  $t$  (minūtes).

Otrā zināšanu pārbaudē koeficienta  $Kn(t_2)$  noteikšana ir jāveic intervāla  $fr$  noslēgumā, kas parāda apgūtās informācijas apjomu pirms jauna moduļa apguves uzsākšanas.

Nosakot zināšanu aizmiršanas apjoma koeficientu divos mācību procesa īstenošanas laika momentos, ir iespēja izrēķināt  $k$  un  $c$  koeficientus, balstoties uz formulām 2.10., 2.11., 2.12.

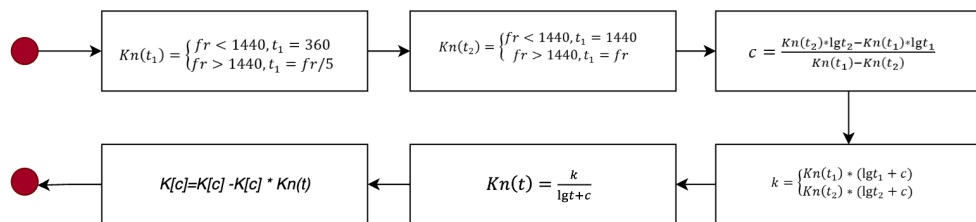
$$\begin{cases} Kn(t_1) = \frac{k}{\lg t_1 + c} \\ Kn(t_2) = \frac{k}{\lg t_2 + c} \end{cases} \quad (2.10.)$$

$$c = \frac{Kn(t_2) * \lg t_2 - Kn(t_1) * \lg t_1}{Kn(t_1) - Kn(t_2)} \quad (2.11.)$$

$$k = \begin{cases} Kn(t_1) * (\lg t_1 + c) \\ Kn(t_2) * (\lg t_2 + c) \end{cases} \quad (2.12.)$$

kur  $Kn(t_1)$  – zināšanu aizmiršanas apjoma koeficients laikā  $t_1$  tiek noteikts saskaņā ar 2.8. formulu,  $Kn(t_2)$  – zināšanu aizmiršanas apjoma koeficients laikā  $t_2$  tiek noteikts saskaņā ar 2.9. formulu.

Kā jau tika minēts iepriekš, tiek uzskatīts, ka mācību vielas apgūšanas procesā izglītojamais paaugstina zināšanu līmeni par noteikto tēmu līdz 100%. Promocijas darbā ir pieņemts, ka zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas algoritms (2.6. attēls) ir jāpielieto visām mācību programmā iekļautajām kompetencēm.



2.6. att. Zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas algoritms.

Algoritma sākumā sistēma identificē izglītojamā zināšanu aizmiršanas apjomu  $Kn(t_1)$  laikā  $t_1$  un  $Kn(t_2)$  – laikā  $t_2$ . Intervāla  $fr$  vērtība ir noteikta mācību programmā. Zināšanu aizmiršanas apjoma koeficienti  $k$  un  $c$  tiek noteikti katram izglītojamam balstoties uz aizmirstu zināšanu apjomu vienā apskatītajā intervālā  $fr$ .

## 2.2. Izglītojamā digitālo kompetenču noteikšana

Digitalizēto mācību sasniedzamie rezultāti ir atkarīgi no izglītojamā digitālo kompetenču pārvaldības spējām, kas nosaka informācijas apgūšanas ātrumu un digitālo resursu izmantošanas efektivitāti (Link un Marz, 2006). Mūsdienu AMPS vadības moduļi nodrošina izglītojamā mācīšanās spēju noteikšanu, pamatojoties uz informācijas apgūšanas laiku un zināšanu pārbaudes rezultātiem (Mejanova u. c., 2022). Izglītojamā digitālo kompetenču zināšanu līmenis ir jānosaka vienu reizi lietotāja pirmreizējās identificēšanās brīdī.

Mācību procesa apgūšanas laikā nepieciešamo digitālo kompetenču koeficientu  $Dk$  nosaka mācību vielas autors, kas identificē zināšanu līmeņa pieaugumu ar *DigiComp* aprēķina metodiku (The Digital Competence Framework for Citizens).

Pētījumos (Mejanova u. c., 2022; Yang u. c., 2021) ir ieviests sākotnējo kompetenču zināšanu līmenis  $Dk_0$ , kas ir atkarīgs no lietotāja zināšanu pārbaudes rezultātiem un ietver jautājumus, kuri apraksta digitālās kompetences ietekmējošo komponentus. Ņemot vērā

zināšanu pārbaudes rezultātus, tiek noteikts vidējais digitālo kompetenču zināšanu līmenis  $\Delta Dk_0$ .

Pētījumos (Nakano u. c., 2005; Sitthisak u. c., 2008) lietotāja digitālo prasmju novērtēšana tika saistīta ar eksperimentālā ceļā noteiktu parametru pielietošanu, pamatojoties uz izglītojamā zināšanu pārbaudes rezultātiem vai iepriekš apgūto kompetenču klāstu.

Mācību procesa apgūšanas laikā mācību pārvaldības sistēmās izglītojamā digitālās prasmes norāda uz spēju orientēties grafiskajā vidē, veicot ar mācību procesu saistītus uzdevumus. Tātad, jo mazāks ir izglītojamā sākotnējais kompetenču zināšanas līmenis  $Dk_0$ , jo lielāks būs laiks, kas ir nepieciešams noteikta moduļa apguvei.

Darbojoties ar AMPS, izglītojamais veic šādas darbības:

- pieslēgšanos sistēmai;
- mācību kursa meklēšanu;
- mācību tēmas apgūšanu;
- mācību uzdevumu iesniegšanu;
- saziņu ar mācītbspēku.

Katrai darbībai izglītojamais izlieto noteiktu laiku  $t$ , kas ir vajadzīgs darbības veikšanai un kurš ir atkarīgs no izglītojamā sākotnēja digitālo kompetenču līmeņa  $Dk_0$ .

Izglītojamā digitālo kompetenču novērtējumu nav iespējams īstenot ar vienotu modeli, iekļaujot visus ar *DigiCom* līmeņa parametriem saistītos novērtējumus. Daži parametri, piemēram, digitālā satura veidošana, neietekmē lietotāja spējas apgūt jauno, ar datorzinātni nesaistīto mācību vielu, izmantojot datorizētas mācību pārvaldības sistēmas. Savukārt šādi faktori ietekmē mācību procesa apgūšanu:

- teksta ievades ātrums;
- izglītojamā adaptācijas laiks saskarnes izskatam;
- izglītojamā tehniskais nodrošinājums.

### **2.2.1. Teksta ievades ātruma noteikšanas metode**

Teksta ievades ātruma parametrs  $QT_{text}$  nosaka izglītojamā spējas ievadīt informāciju, izmantojot tastatūru. Teksta ievades ātrums ietekmē laiku, kas ir vajadzīgs ar teksta informācijas ievadi saistītu uzdevumu izpildei. Lietotāja teksta ievades ātrumu ietekmē vairāki faktori: tastatūras pārzināšana, tās formāts, iekārtas veids un citi faktori, kas ir saistīti gan ar tastatūras tehnisko uzbūvi, gan ar tās vizuālo attēlošanu. Par etalona vērtību  $textT_{min}$  tiek noteikts laiks 0,00625 minūtes viena simbola ievadei, kas atbilst cilvēka vidējam drukāšanas ātrumam, kas nodrošina teksta ievadi, izmantojot 2–4 pirkstus, skatoties uz tastatūru (2.2. tab.) (SOLO, 2022; Typing, 2022).

Lietotāju klasifikācija, balstoties uz informācijas ievades (SOLO, 2022; Typing, 2022)

Teksta ievades ātrums (s/min – simbolu skaits minūtē, vsm – vārdu skaits minūtē)		Lietotāja profila apraksts
< 120 s/min	< 24 vsm	lēns mašīnrakstīšanas ātrums, kas raksturīgs personai ar nelielu pieredzi rakstīt ar tastatūru
120–160 s/min	24–32 vsm	mašīnrakstīšanas ātrums cilvēkam rakstot ar 2–4 pirkstiem
160–260 s/min	32–52 vsm	vidējais mašīnrakstīšanas ātrums cilvēkam, kurš prot akli rakstīt ar desmit pirkstiem
260–350 s/min	52–70 vsm	labs mašīnrakstīšanas ātrums cilvēkam, kurš vairāk nekā vienu reizi ir pabeidzis datorrakstīšanas kursu vai attīsta mašīnrakstīšanas ātrumu, izmantojot mašīnrakstīšanas treneri

Veidojot lietotāja profilu, sistēma uzdod ar reģistrācijas procesu saistītus jautājumus, kas tiek integrēti personas informācijas savākšanas procesa ietvaros. Pamatojoties uz lietotāja reģistrācijas datu formas struktūru, var uzskatīt, ka viņš/viņa ievada informāciju, kas viņam/viņai ir pazīstama, un informācijas ievades laiks netiek ietekmēts ar kādu citu ar šo procesu saistīto darbību. Tādēļ tiek pieņemts, ka lietotāja teksta ievades ātruma parametrs  $QT_{text}$  (2.13. formula) ir atkarīgs no ievadītā simbolu skaita vienā sekundē attiecībā pret teksta ievades ātruma etalonvērtību.

$$QT_{text} = \frac{textT_{min}}{textT_{enter}}, \quad (2.13.)$$

kur  $textT_{min}$  – viena simbola ievades ātruma etalona vērtība, kas ir vienāda ar 0,00625 (minūtes);

$textT_{enter}$  – izglītojamā vidējais viena simbola ievadei nepieciešamais laiks (minūtes).

Teksta ievades ātruma parametrs  $QT_{text}$  tiek izmantots 2.5. nodaļā mācību plāna dzīves ilgumu ietekmējošo parametru noteikšanas algoritmā.

### 2.2.2. Sistēmas lietošanas apguves laika noteikšanas metode

Sistēmas lietošanas apguves laika parametrs  $QT_{user}$  nosaka izglītojamā spēju pielāgoties jaunai programmatūrai. Pamatojoties uz promocijas darba izstrādes laikā veikto pētījumu, kas tika īstenots 2022. gadā ESF projektā "Nodarbināto personu profesionālās kompetences pilnveide" 7. kārtas ietvaros, tiek secināts, ka izglītojamam, kas apgūst ar informācijas

tehnoloģijām nesaistītus mācību kursus, ir nepieciešams laiks, lai pierastu pie mācību platformas. Tādējādi uzdevumi, kur mācību plāna izpildes nosacījumi ir ierobežoti ar laika koeficientu, dažādām lietotāju grupām ar dažādām mācību platformas pārvaldības spējām nevar tikt vērtēti līdzīgi. Pastāv rekomendācijas (Vlasenko u. c., 2022), kuras nosaka mācību platformas izstrādes metodiku, kas nodrošina vienota šablona izmantošanu mācību platformas lietotāja daļas izstrādē un metodes, kas nodrošina iepazīšanos ar mācību platformas darbībām.

Šodienas MPS galvenokārt nodrošina statistiku mācību platformas iepazīšanas scenāriju, neizmantojot katram lietotājam pielāgotu atgriezenisko saiti. Tie nodrošina UI/UX (user interface/user experience) dizaina tehniskās prasības, kas veido vienotu mācību platformu ar izglītības procesu saistītu moduļu izkārtojumu, kas nosaka lietotāja saskarnes (UI) lietojamību, izvērtējot lietotāja pieredzi (UX) tiešsaistes platformu projektēšanas stadijā. Ir pieņemts, ka tiešsaistes kursa mācību rezultātu sasniegšanu ietekmē lietotāja saskarnes komponentu atbilstība standartizētu kritēriju sarakstam (Kim M. un Kim Y., 2017; Handayani u. c., 2020; Senevirathne un Manathunga, 2021), kas nosaka satura vieglu uztveri, liekas informācijas neesamību, vienkāršas un saprotamas navigācijas iespējas un programmatūras lietojamības principa ievērošanu. Tādējādi, lai iepazīstinātu izglītojamo ar platformas funkcionalitāti ir vajadzīgs pievienot mācību platformas funkcionalitātes apguves moduli.

Piedaloties mācību procesā, izglītojamais patērē noteiktu laiku  $t_{source\ i}$ , lai iepazītos ar katru mācību moduli. Sistēmas administrators definē laiku  $t_{msource\ i}$ , kas ir nepieciešams noteikta i-tā moduļa apguvei. Sistēmas lietošanas apguves laika parametru nosaka 2.14. formula.

$$QT_{user} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{t_{msource\ i}}{t_{source\ i}}}, \quad (2.14.)$$

kur  $t_{msource\ i}$  – sistēmā definētais laiks, kas ir nepieciešams noteikta moduļa apguvei (minūtes);

$t_{source\ i}$  – laiks, ko izglītojamais ir izmantojis noteikta moduļa apguvei (minūtes).

Nosakot koeficientu  $QT_{user}$ , jāņem vērā, ka katrs atsevišķs novērtēts parametrs  $\frac{t_{msource\ i}}{t_{source\ i}}$  nevar novirzīties vairāk par 1.89 reizēm no  $QT_{user}$  koeficienta (tika noteikts īstenojot ESF apmācību projekta "Nodarbināto personu profesionālās kompetences pilnveide" 5. kārtu, kurā tika apmācīti 849 izglītojamie). Gadījumā, ja novirze pārsniedz pieļauto robežu, sistēma veic atkārtotu moduļa validāciju, nosakot jaunu laiku  $t_{source\ i}$  izpildītai aktivitātei.

Sistēmas lietošanas apguves laika parametrs  $QT_{user}$  tiek izmantots 2.5. nodaļā mācību plāna dzīves ilgumu ietekmējošo parametru noteikšanas algoritmā.

### 2.3. Tehniskā nodrošinājuma ietekmes noteikšanas metode

Mūsdienu tehnoloģiju izmantošanas ietekmi uz mācību procesa apguves ātrumu nosaka, izmantojot divas pieejas: tehnoloģiju pieņemšanas modeli (Rahimi, 2020; Mohamad u. c., 2021) (Technology acceptance model – TAM) un vienoto tehnoloģiju pieņemšanas un izmantošanas teoriju (Marques u. c., 2011; Šumak u. c., 2019; Ursavas, 2022) (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology – UTAUT).



TAM modelis izskaidro lietotāja uzvedības īpatnības, izmantojot informācijas tehnoloģiju elementus uzdevuma izpildei, kas ir noteikti, balstoties uz diviem pamatfaktoriem: tehnoloģiju lietderību un tehnoloģiju uztveršanas/izmantošanas vieglumu. 2000. gadā TAM modelis tika papildināts ar faktoriem, kas nosaka tehnoloģiju uztveršanas un izmantošanas vieglumu (Rahimi, 2020; Mohamad u. c., 2021).

UTAUT pirmo reizi tika piedāvāts 2003. gadā un ir balstīts uz faktoriem, kas nosaka sistēmas veiktspēju, nepieciešamo darbības laiku, sociālās ietekmes apjomu, atvieglojuma faktorus (Marques u. c., 2011; Šumak u. c., 2019; Ursavas, 2022). Balstoties uz (Oye u. c., 2003), tika secināts, ka demogrāfiskie faktori, tādi kā dzimums, vecums, pieredze un lietošanas lietpratība, netieši ietekmē lietotāja uzvedību sistēmas darbības laikā. 2013. gadā teorija tika papildināta ar 3 papildu faktoriem, kas ir saistīti ar sistēmas lietošanas ērtumu, pievienoto vērtības noteikšanu un lietošanas ieradumiem.

Tehniskā nodrošinājuma ietekmes parametrs  $QT_{sys}$  nosaka ar tehniskiem parametriem saistītu faktoru ietekmi uz mācību programmas apguves laiku. Izmantojot tiešsaistes mācību pārvaldības sistēmas, izglītojamais mācību procesa īstenošanas laikā var mainīt tehnisko nodrošinājumu, kas ietekmē mācību programmas apguves iespējas. Pieņemsim, ka, balstoties uz tehniskā nodrošinājuma funkcionālajiem ierobežojumiem (ekrāna izmērs, ievadiekārtas/izvadiekārtas, procesoru jauda, videokameras pieejamība, utt.), adaptīva mācību plāna vadības sistēma nodrošina plāna pielāgošanu, ievērojot mācību un zināšanu pārbaudes moduļu atbilstību sistēmas funkcionēšanas ierobežojumiem.

Lai noskaidrotu tehniskā nodrošinājuma ietekmes parametru pamatfaktoros, tika veikta aptauja, kas palīdzēja noskaidrot tehnisko faktoros, kuri traucēja mācību vielas apgūšanai, izmantojot profesionālās pilnveides neklātienes mācību programmas apgūšanu attālinātā formātā. Pētījumā piedalījās 1986 respondenti vecumā no 25 līdz 63 gadiem. Visi no vienas mērķauditorijas, kas ikdienā izmanto datorizētus risinājumus ar pamatdarbu saistītu uzdevumu izpildei. Tika noskaidroti šādi faktori, kas ietekmēja mācību vielas apgūšanu, izmantojot datorizētu apmācības procesa pārvaldības sistēmu:

**Interneta pieslēgums** (62% respondentu izvēlējās šo faktoru) – promocijas darbā tiek piedāvāts izmantot interneta ātruma noteikšanas funkcionalitāti mācību satura apgūšanai. Tiek pieņemts, ka, izmantojot interneta pieslēgumu, tiek noteikts savienojuma ātrums mācību procesa uzsākšanas sākumā, veicot savienojuma pārbaudi, izmantojot atbilstoši programmēšanas valodai pieejamo bibliotēku (piemēram, *Python speedtest* bibliotēku). Balstoties uz nepieciešamā savienojuma ātruma atbilstību attālināta video satura attēlošanai, minimālais ātrums, kas ir nepieciešams zemas kvalitātes video satura attēlošanai, ir SD 360p (*progressive*)= 0,7Mbps (*megabits per seconds*). 360p ir zemas izšķirtspējas video standarts, kas satur 640 x 360 pikselus (360 ir vertikālo pikseļu skaits). Šo standartu izmanto kā noklusējuma video kvalitāti tiešsaistes video straumēšanas platformas, piemēram, YouTube vai Vimeo (*Finamore* u. c., 2011). Zemāks ātrums nenodrošina video satura lejupielādes ātrumu nepārtraukta video fragmenta attēlošanai.

**Ekrāna izmērs** (54% respondentu izvēlējās šo faktoru) – pamatojoties uz (*Talal*, 2020; *Redlinger* u. c., 2021) pētījuma rezultātiem, ekrāna izmērs ietekme uz izglītojamā kognitīvo slodzi apmācības laikā *Moodle* tehniskās dokumentācijas prasības nosaka, ka MPS

funkcionēšanai ir nepieciešama vismaz 800\*600 ekrāna izšķirtspēja, bet kā ieteicama minimāla prasība tiek definēta 1024x768 izšķirtspēja. Analizējot mobilo iekārtu izšķirtspēju, to nevar tiešā veidā salīdzināt ar stacionāra vai portatīva datora izšķirtspēju un izmantot tikai ekrāna izšķirtspēju, kas ir noteikts pikseļos. Pareizi ir salīdzināt vērtības, kuras balstās uz pikseļu skaitu uz vienu collu (*ppi*), kas nosaka punktu attēlošanas skaitu vienā ekrāna collā. Jo lielāka ir vērtība, jo mazāks būs teksta izmērs uz ekrāna. Tiek pieņemts, ka *ppi* vērtībai ir jābūt diapazonā no 70 līdz 185, kas nosaka nepieciešamo teksta izmēru lasīšanai. Aprakstīto vērtību diapazons ir aktuāls, darbojoties ar maza izmēra ekrāniem, kas ir mazāki par 21". Gadījumos, ja ekrāna izmērs pārsniedz 21", par ekrāna izmēra noteicošo faktoru tiks uzskaitīts ekrāna izmērs pikseļos.

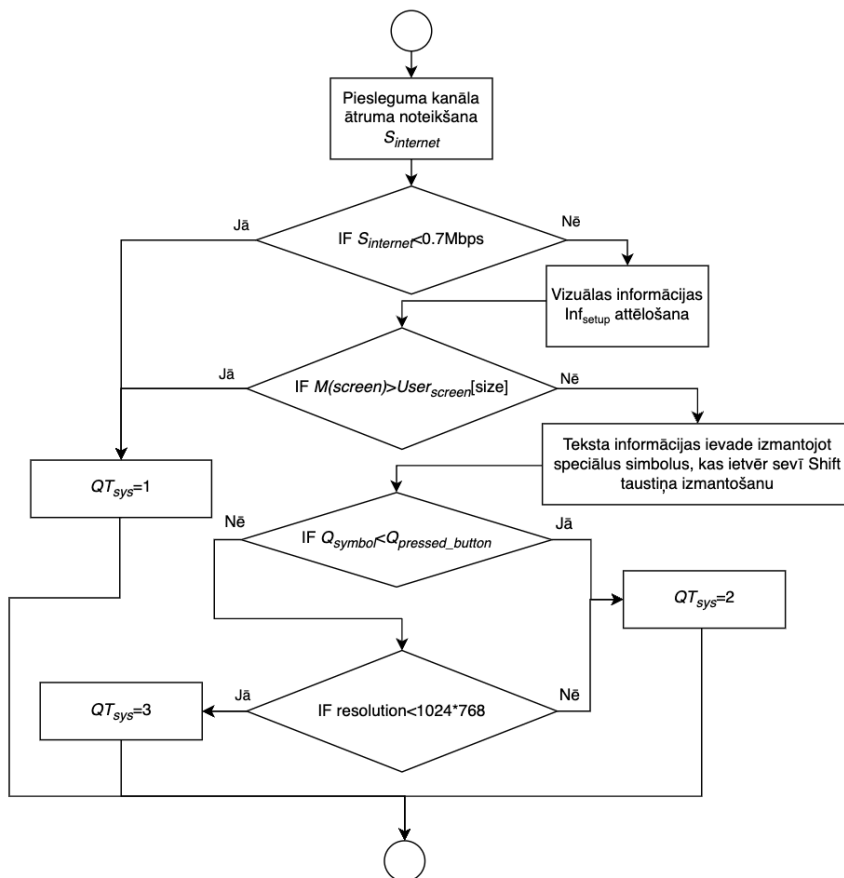
**Tastatūras veids** (36% respondentu izvēlējās šo faktoru) – tastatūras veids nosaka lietotāja teksta ievades ātrumu un informācijas pārskatāmību (*Siook un Liu, 2018*). Ņemot vērā izvēlētas tastatūras veidu (fiziska vai digitāla) – var mainīties zināšanu pārbaudes uzdevumu izpildes kvalitāte, ja ir paredzēta teksta formātā atgriezeniskā saite. Digitāla jeb uz ekrāna attēlota tastatūra samazina vai ierobežo teksta ievades ātrumu, samazinot ekrānā attēlotās informācijas apjomu. Promocijas darba izstrādes laikā pēc mērķauditorijas aptaujas rezultātiem tika secināts, ka digitālas tastatūras izmantošanas gadījumā ir apgrūtināta zināšanu pārbaude, kurā nepieciešams atbildi iesniegt teksta formātā.

**Skaņas kvalitāte** (18% respondentu izvēlējās šo faktoru) – skaņas kvalitāte ir atkarīga no perifērijas iekārtām. Tiek uzskatīts, ka visas datorizētās sistēmas, ko izglītojamais izmanto piekļuvei mācību līdzekļiem, ir aprīkotas ar skaņas karti audio informācijas atskaņošanai. Izglītojamais, apgūstot mācību vielu, ir informēts par nepieciešamību izmantot perifērijas iekārtas audio fragmentu atskaņošanai, tādēļ promocijas darbā tiek uzskatīts, ka šis faktors mācības neietekmē.

**Iekārtas funkcionalitāte** (24% respondentu izvēlējās šo faktoru) – izvēlētas ierīces atbilstību mācību procesa nodrošināšanai. Veicot detalizētu iekārtas funkcionalitātes faktora analīzi, tika konstatēts, ka ierobežojumi ir saistīti ar citiem ar mācību procesu saistītiem programmatūras izmantošanas ierobežojumiem, kas tiek noteikti operētājsistēmas līmenī, tādēļ promocijas darbā šis faktors netiek apskatīts.

Promocijas darbā tika izdalītas trīs ar lietotāja tehnisko nodrošinājumu saistītas kategorijas, kas ietekmē mācību vielas apgūšanas kvalitāti:

1. Tehnisko resursu ierobežota funkcionalitāte – izglītojamais izmanto ierīci, kas daļēji nodrošina mācību satura attēlošanas iespējas, atgriezeniskā saite nav pieejama, ar resursu noslodzi saistītie satura materiāli nav pieejami. Minēto iemeslu dēļ var uzskatīt, ka, strādājot ar ierobežotu funkcionalitāti, būs iespējams izmantot tikai teksta vai audio satura informāciju.
2. Tehnisko resursu daļēji ierobežotā funkcionalitāte – izglītojamais izmanto ierīci, kas nodrošina pamatfunkcionalitāti digitāla satura apgūšanai, bet ir ierobežots atgriezeniskās saites nodrošināšanas process (ierobežots ekrāna izmērs, digitāla tastatūra un citi ar ievades un izvades iekārtām saistītie ierobežojumi).
3. Tehnisko resursu pilnvērtīga funkcionalitāte – izglītojamā tehnisko resursu funkcionalitāte neierobežo mācību satura apgūšanas procesu.



2.7. att. Tehniskā nodrošinājuma ietekmes noteikšanas algoritms.

Tehniskā nodrošinājuma ietekmes parametra  $QT_{sys}$  noteikšanai promocijas darbā tiek piedāvāts algoritms, kas nosaka koeficientu, ņemot vērā izglītojamā sistēmas tehniskās īpašības (2.7. attēls).

## 2.4. Mācību plāna dzīves ilguma ietekmējošo faktoru analīze

Mācību satura apjoms un tā struktūra kursa ietvaros ir statiskā vērtība, kas tiek izmantota individuāla mācību plāna ģenerēšanai.

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 no izglītojamā zināšanu līmeņa noteiktajā posmā. Piemēram, var uzskatīt, ka izglītojamais, kas apgūst mācību programmu ar pārtraukumiem  $t_{wait}$ , ņemot vērā zināšanu aizmirstības apjoma koeficientu (2.1.3. sadaļa), ir pakļauts riskam aizmirst lielāko apgūtas informācijas apjomu nekā izglītojamais, kas apgūst mācību kursu intensīvi.

Mācību moduļa apgūšanas laiks  $M(t)$  sastāv no summas – laika  $t_{work}$ , kas ir nepieciešams informācijas apgūšanai un apstrādei un laika  $t_{wait}$ , ko izglītojamais pavada gaidīšanas režīmā, pārtraucot vai veidojot pauzes starp moduļiem.

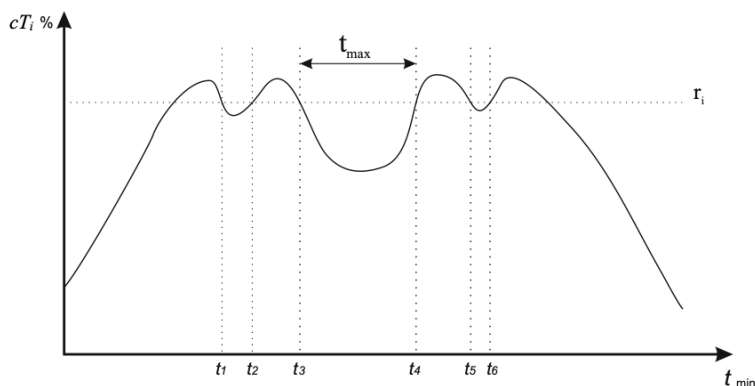
### 2.4.1. Mācību plāna īstenošanas laika rādītājs

Ģenerētā mācību plāna īstenošanas laikā iespējams, ka ņemot vērā izglītojamā modeļa saistītus faktorus vai informācijas apgūšanas tempa dēļ, izglītojamais nespēj turpināt mācību procesu, pēc iepriekš definēta plāna. Nosakot apgūtās informācijas daudzumu pēc noteikta laika perioda ir iespējams definēt  $i$ -tas kompetences robežu  $r_i$ , kas nosaka minimālo zināšanu līmeni apgūtajā kompetencē.

Savukārt 2.1.1. sadaļā aprakstītam parametram  $cT_i$  nosaka nepieciešamo kompetenču zināšanu līmeni moduļa apgūšanai. Var pieņemt, ka  $r_i$  robežvērtība ir vienāda ar minimālo nepieciešamo kompetences zināšanu līmeni  $cT_i$ .

Kā nākamā jādefinē laika momentu kopa  $T$ , kas norāda, kad tiek pārsniegta robeža  $r_i$ . Kopa  $T$  ietver sevī visas mācību kursā fiksētās laika vērtības ar iepriekš definētu intervālu  $\Delta t$ , kas nevar būt lielāks par mazāko kursā aktivitātes laiku. Mācību procesa apgūšanas laikā izglītojamais vienlaikus var apgūt tikai vienu mācību moduli. Tas nozīmē, ka laika skala ir lineāra un kopēja mācību aktivitāšu izpildes laika summa ir vienāda ar kursa apguves laiku.

Mācību kursa apguves laikā izglītojamā kompetences zināšanas līmeņa pieaugumu ietekmē apgūto moduļu skaits. Ir zināms, ka katru kompetenci var apgūt ar vienu vai vairāk moduļiem, katras kompetences zināšanu līmeņa grafiku var apskatīt 2.8. attēlā.



2.8. att. Kompetences zināšanu līmeņa svārstības mācību procesa apguves laikā.

Pieņemsim, ka  $t_{max}$  ir maksimālais pieļaujамais laiks, kurā izglītojamā kompetences zināšanu līmenis var atrasties zem  $r_i$  robežas. Pārsniedzot šo robežu ir nepieciešams pārkonfigurēt mācību plānu. Tādējādi var uzskatīt, ka mācību plāns paliek nemainīgs tik ilgi, kamēr izpildās nosacījums:  $t_{n+1} - t_n < t_{max}$ .

Promocijas darbā tiek pieņemts, ka mācību procesa apgūšanas laikā nav iespējams mainīt plānā iekļauto moduļu apguves laiku.

#### 2.4.2. Uz informācijas pārraides kavēšanu balstīts rādītājs

Pamatojoties uz to, ka mācību process tiek nodrošināts tiešsaistes režīmā, mācību procesa īstenošanas laikā ir jāpārbauga savienojuma kvalitāti. Vidē, kurā tiek nodrošināts datorizētu sistēmu vadīts mācību process, katrā laika intervālā notiek noteiktas darbības, kas ir inicializētas no servera puses. Par notikumiem var uzskatīt ārējo resursu aktivizācijas procesus, lietotāja ietekmi uz sistēmu, informācijas nodošanu, kā arī tehniska līmeņa informāciju, piemēram, regulāro lietotāja identifikēšanu un sesiju pārraudzību.

Tā kā izglītības process var tikt īstenots, izmantojot mobilās iekārtas interneta pieslēgumu, kur interneta ātrums var mainīties, izglītojamam atrodies kustībā, indikatīvie mērījumi, kas nosaka interneta pieslēguma kvalitāti, var mainīties mācību procesa īstenošanas laikā.

Ir nepieciešams ieviest katras izveidotās savienojuma sesijas darbības kvalitātes parametru  $W$  noteiktam laika intervālam  $t$ . Beborra un Das (Beborra un Das, 2020) ir pierādījuši, ka, veidojot tīmekļa savienojumu, izmantojot mobilo interneta piekļuves punktu, interneta ātrums var mainīties divu faktoru dēļ: tīkla noslodzes un izglītojamā atrašanās vieta attiecībā pret pārraides torni.

Ir ieviesti divi parametri:  $W_{\text{valid}}$ , kas nosaka interneta pieslēguma kvalitāti, un parametrs  $W_{\text{t\_min}}$ , kas nosaka laiku, cik ilgi sistēma var atrasties stāvoklī, kad interneta savienojuma kvalitāte neatbilst parametra  $W$  vērtībai.

Gadījumā, ja tīkla kvalitāte neatbilst sistēmas prasībām, tiek izsaukts mācību plāna ģenerēšanas algoritms, atlasot moduļus, kas var tikt īstenoti ar zemu informācijas pārraides ātrumu.

#### 2.4.3. Mācību plāna maiņas laika rādītājs

Sistēmai darbojoties, var būt situācija, kad izglītojamais nevar apgūt kādu konkrētu mācību moduli, tad izpildās nosacījums, ka atlikušais laiks, neapskatīto moduļu apgūšanai, ir mazāks nekā kursā paredzētais laiks. Tas nozīmē, ka izglītojamais nevar turpināt mācību procesu, izmantojot esošo mācību plāna struktūru. Gadījumā, ja neapgūto moduļu paredzētais laiks ļauj veikt mācību plāna ģenerēšanas procesu, nodrošinot jaunu mācību vielas pasniegšanas secību, kas palīdzēs sasniegt nepieciešamo zināšanu līmeņa apjomu maksimāli daudzās kompetencēs, sistēma inicializē jauna mācību plāna ģenerēšanas algoritmu. Jauna plāna ģenerēšana tiek inicializēta, izmantojot formulu:

$$K(t) > \sum_{i=1}^{n-1} M_i(t) + Q_i(t), \quad Q[c] \in M[c], \quad \text{kur } M[csT_i] \leq U[cU], \quad (2.15.)$$

kur  $K(t)$  - mācību kursam atvēlētais laiks,

$M_i(t)$  - nepieciešamais laiks  $i$ -ta moduļa apguvei,

$Q_i(t)$  - laiks, kas ir nepieciešams  $i$ -ta testa izpildei,

$csT_i$  - moduļa apguvei nepieciešamā  $i$ -ta kompetence,

$U$  - informācija par mācību procesa izpildi,

$cU$  - informācijas kopa, kas attēlo izglītojamā katrai kompetencei atbilstošo zināšanu līmeni.

Mācību plānā ģenerēšanas procesā kursa atvelētais laiks ir lielāks par visu moduļu (mācību un zināšanu pārbaudes moduļiem) paredzēto izpildes laiku, kur moduļa apguvei nepieciešamais kompetences zināšanu līmenis ir mazāks vai vienāds par izglītojamā katrai kompetencei atbilstošu zināšanu līmeni.

Uzdevuma izpildei tiek definēts laiks  $t_{wait}$ , kas norāda sistēmas maksimālo gaidīšanas laika intervālu. Gadījumā, ja izglītojamā zināšanu līmenis visās kompetencēs laika intervālā  $t_{wait}$  samazinās, pārsniedzot robežu  $r_i$ , ņemot vērā zināšanu aizmiršanas apjoma koeficientu, tiek uzskatīts, ka mācību process ir pārtraukts vai nesasniedz noteikto rezultātu. Gadījumos, ja izglītojamais nevar sasniegt kādu konkrētu rezultātu un gaidīšanas laiks  $t_{wait}$  palielinās, mācību pārvaldības sistēmā ir jāveic darbības, kas motivēs izglītojamo turpināt mācību procesu (Srinivasa u. c., 2022).

## 2.5. Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modeļa izmantošanas algoritms

Šajā apakšnodaļā ir apskatīts mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas uzdevums. Uzdevums ir novērtēt definēta mācību plāna dzīves ilgumu, zinot tā īstenošanas laiku un noteiktos minimālos sasniedzamus rezultātus mācību programmā iekļautajās kompetencēs.

Mācību plāna dzīves ilgums ir atkarīgs no programmā iekļauto kompetenču skaita, definēta minimālā sasniedzamā zināšanu līmeņa mācību programmas noslēgumā un izglītojamā spējām apgūt informāciju noteiktajā laika. Tiek pieņemts, ka mācību programmas īstenošanas laiks ir konstants un ir zināms katras kompetences nepieciešamais minimālais zināšanu līmenis, kas izglītojamam ir jāasniedz mācību programmas noslēguma pārbaudē. Katras kompetences apguves laiks ir noteikts ņemot vērā kompetenču apgūšanai iekļauto moduļu īstenošanas laiku. AMPS programmas realizācijai izmanto iepriekš definētu mācību plānu.

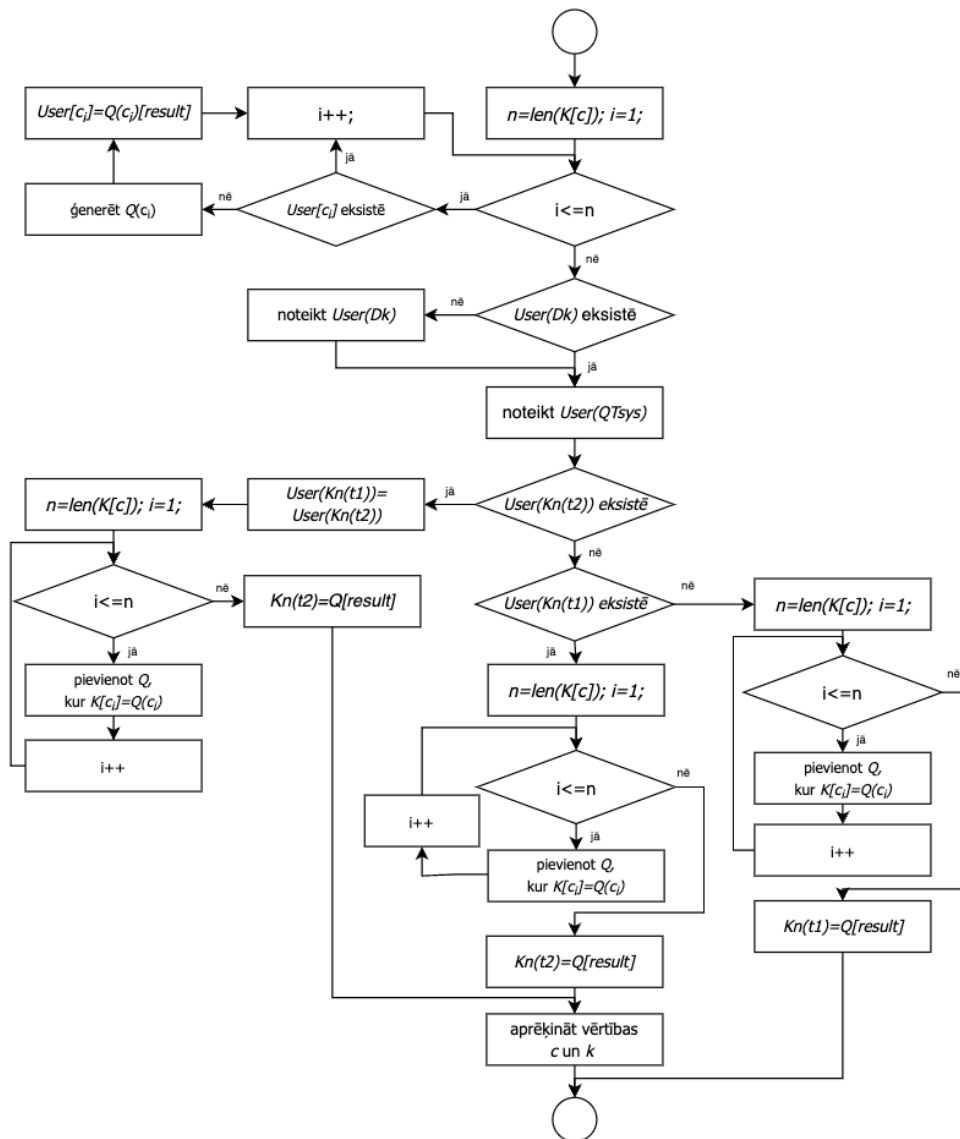
Mācību plāna dzīves ilgumu ietekmējošo parametru noteikšanai promocijas darbā ir izstrādāts algoritms (2.9.att.). Algoritms apraksta izglītojamā sākotnējo katras mācību programmā iekļautās kompetences zināšanu līmeņa noteikšanu, izmantojot 2.1.1. un 2.1.2. sadaļās aprakstītos modeļus. Sistēma iegūst izglītojamā zināšanu līmeni katrā kursā iekļautajā kompetencē  $User[c]$ , izmantojot sistēmā esošo informāciju par izglītojamo vai veicot zināšanu pārbaudes testus, gadījumā, ja sistēmā nav izglītojamā noteiktas kompetences zināšanu līmenis.

Turpinājumā tiek noteikts izglītojamā digitālās kompetences zināšanu līmenis  $User(Dk)$  un tehniskā nodrošinājuma ietekmes  $User(QTsys)$  parametrs, saskaņā ar 2.2. un 2.3. sadaļās aprakstīto un 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.

Zināšanu aizmiršanas apjoma koeficienta  $Kn$  noteikšanai algoritmā tiek lietots 2.1.3. sadaļā aprakstītais modelis, kas izmanto divas zināšanu pārbaudes, nosakot  $Kn(t)$  vērtības. Sākotnējā aktivizācijas reizē tiek noteikts tikai  $Kn(t_1)$ , veicot zināšanu pārbaudi, bet  $Kn(t_2)$  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

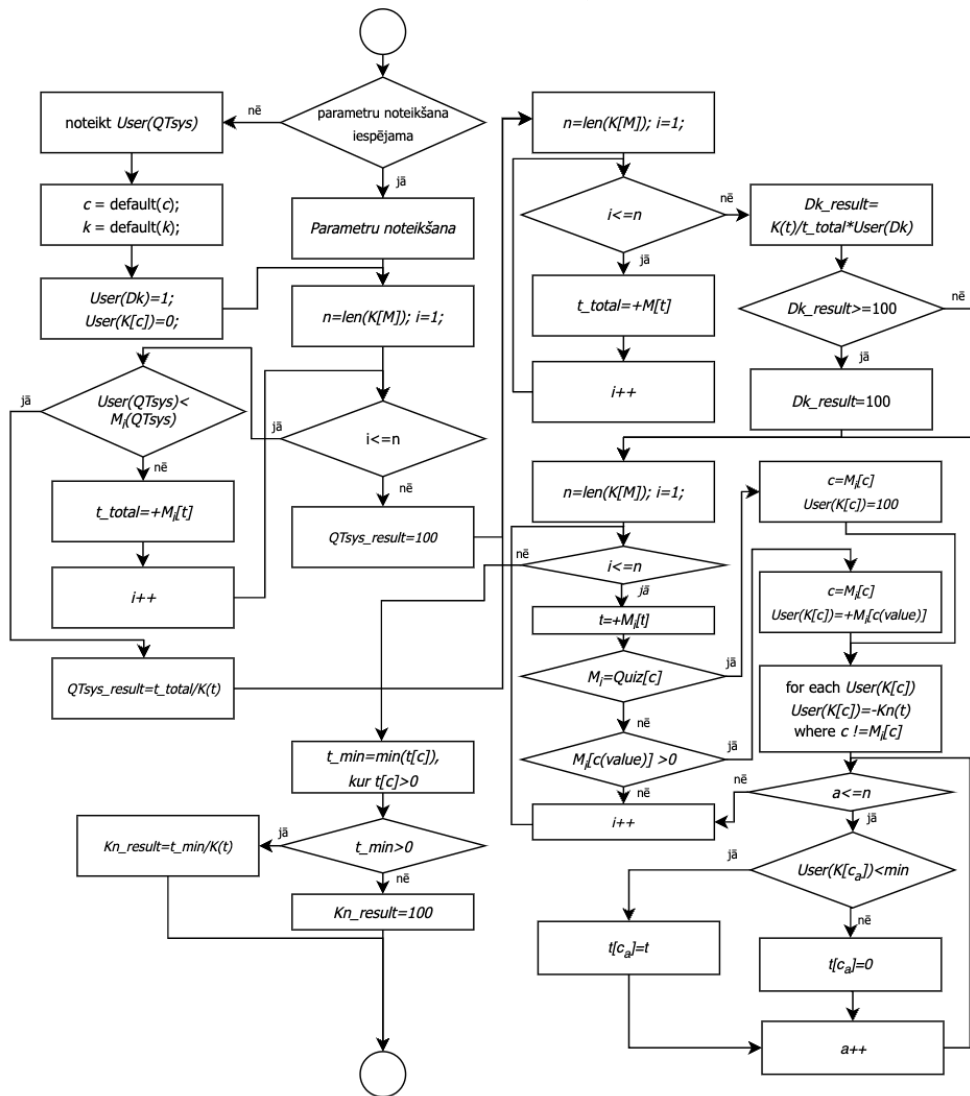
- $Kn(t_2)$  noteikšanai, bet  $Kn(t_1)$  vērtība netiek mainīta;
- ja  $Kn(t_2)$  vērtība jau ir iegūta, tad sistēma maina  $Kn(t_1)$ , izpildot darbību  $User(Kn(t_1)) \leftarrow User(Kn(t_2))$ , un  $Kn(t_2)$  aprēķinam sistēma ģenerē jaunu zināšanu pārbaudi.



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

Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanai promocijas darbā tiek piedāvāts algoritms, kas ir attēlots 2.10. attēlā. 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.



2.10. att. Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas algoritms.

Algoritma sākumā tiek pārbaudīts, vai ir iespējams noteikt mācību plāna dzīves ilgumu ietekmējošos parametrus: izglītojamā zināšanu līmenis kursā katrā iekļautajā kompetencē, digitālās kompetences zināšanu līmenis, tehniskā nodrošinājuma ietekmes parametrs un zināšanu aizmirsšanas koeficients (2.10. att.). Gadījumā, ja tas nav iespējams, jāinicializē parametru noteikšanas procesus, t.i. algoritms, kas redzams 2.9.attēlā, jāveic tehniskā nodrošinājuma ietekmes noteikšana, izmantojot 2.3. sadaļā aprakstīto metodi, jāpiešķir sistēmā



definētās vērtības visiem mācību plāna dzīves ilgumu novērtēšanu ietekmējošajiem parametriem.

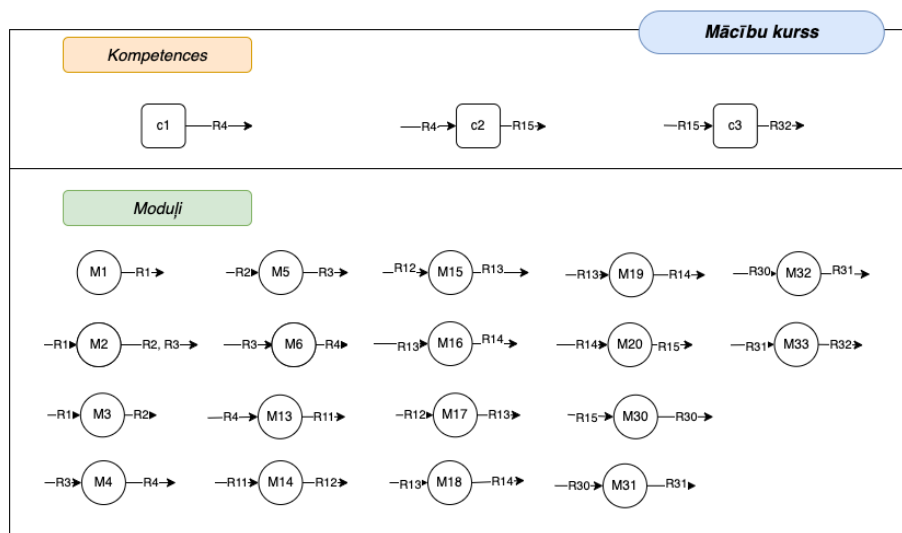
Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas algoritma rezultāts ietver trīs vērtības.

- Mācību plāna dzīves ilgums ir atkarīgs no izglītojamā tehniskā nodrošinājuma ( $QT_{sys\_result}$ ).
- Mācību plāna dzīves ilgumu ietekmē izglītojamā informācijas apgūšanas ātrums un spējas izmantot digitālās kompetences ( $DK\_result$ )
- Mācību plāna dzīves ilgums ir atkarīgs no mācību procesā sasniegtā rezultāta ( $Kn\_result$ ).

## 2.6. Mācību plāna ģenerēšanas uzdevumu nostādne

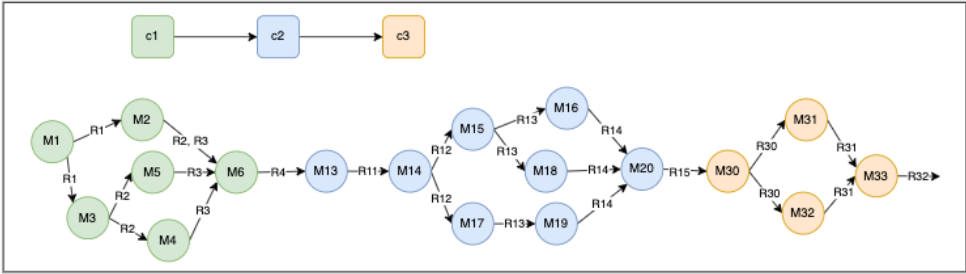
Šajā apakšnodaļā ir apskatīts mācību plāna ģenerēšanas uzdevums. Iepriekš tika minēts, ka adaptīva mācību plāna ģenerēšanas uzdevums ir moduļu secības izveidošana mācību satura apgūšanai, kas ļauj palielināt katras mācību procesā iekļautās kompetences zināšanu līmeni mācību kursa noslēguma pārbaudēs. Izglītojamais, apgūstot mācību kursu, pilnveido savas kompetences, kas definētas kursā un ir piesaistītas moduļiem, kur iegūto zināšanu līmenis tiek noteikts, izmantojot pārbaudes moduļus  $Q$ .

Pieņemsim, ka mācību kursā ir nepieciešams apgūt zināšanās trīs kompetencēs  $c_1$ ,  $c_2$  un  $c_3$ . Katra kompetence ietver sevī mācību moduļus tā apguvei, kuri satur dažādas aktivitātes (izlasīt, noskatīties, izpildīt u.c.) (2.11.att.).



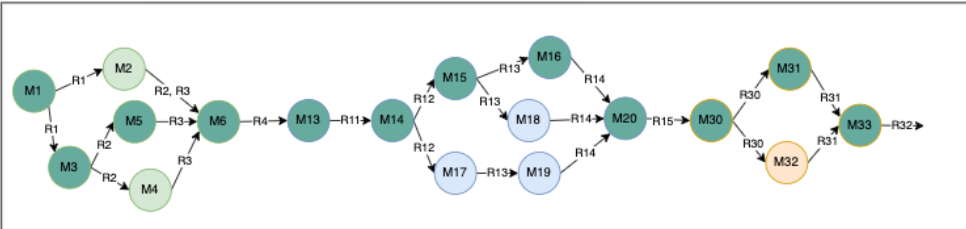
2.11. att. Nesakārtoti moduļi  $c_1$ ,  $c_2$  un  $c_3$  kompetenču apguvei.

Iepriekš tika minēts, ka mācību plāna reprezentācijai tiek izmantots svērts grafs. 2.12.attēlā grafa virsotnēm atbilst moduļi, bet šķautnēm – zināšanas pēc moduļu apguves.



2.12. att. Sakārtoti moduļi  $c_1$ ,  $c_2$  un  $c_3$  kompetenču apguvei.

Izstrādāto mācību plānu piemēru ar secīgu moduļu apguvi var redzēt 2.13.attēlā. Mācību plāna ģenerēšana ir aprakstīta 3.3. sadaļā.



2.13. att. Mācību plāns kursa apguvei.

Apgūstot mācību moduli, izglītojamais var pilnveidot vienu vai vairākas kompetences, tādēļ var pieņemt, ka katrs mācību modulis nodrošina zināšanas vismaz vienas kompetences pilnveidošanai. Sākotnējās vērtības moduļa inicializēšanai nav obligātas, un mācību kursa sākuma moduļiem tās var nebūt norādītas.

Mācību plānu, kas ietver moduļu apguves secību un kompetenču zināšanu līmeņa pilnveidošanu, var attēlot kā divdaļīgu grafu, kur virsotnes ir sadalītas divās kopās – moduļos un kompetencēs, un katrs grafā loks savieno vienas kopas kādu virsotni ar kādu citu otras kopas virsotni, proti, vienas kopas virsotnes nav savienotas.

Mācību procesa īstenošanas laiks ir ierobežots ar katram mācību kursam paredzēto apguves laiku  $t$ . Apgūstot mācību moduļus izglītojamais iegūst kompetenci, kas tiek mērīta skalā no 0% līdz 100%. Apgūstot mācību kursu, ievērojot uz zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modeli, kursa noslēguma pārbaudē izglītojamais sasniedz kopēju kompetenču zināšanu līmeni, kas ietver katras kompetences zināšanas līmeņa rezultātus. Mācību plāna algoritms ģenerē tādu ceļu  $P$  grafā, 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).

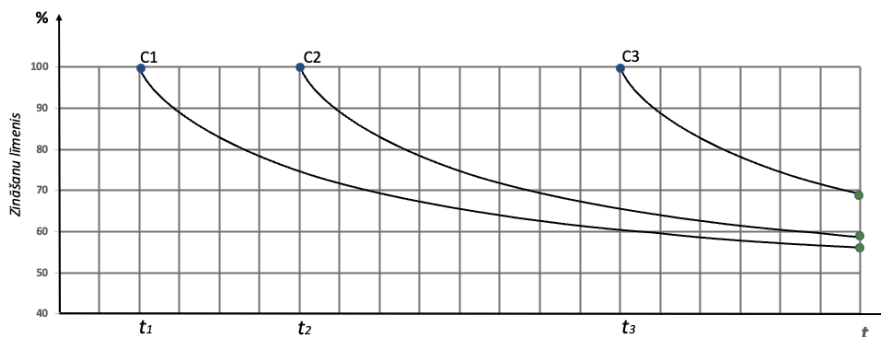
Ir definētas prasības mācību plāna ģenerēšanas algoritmam.

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 informācijas apjoma aizmiršanas procentu mācību programmas

apgaves noslēgumā.

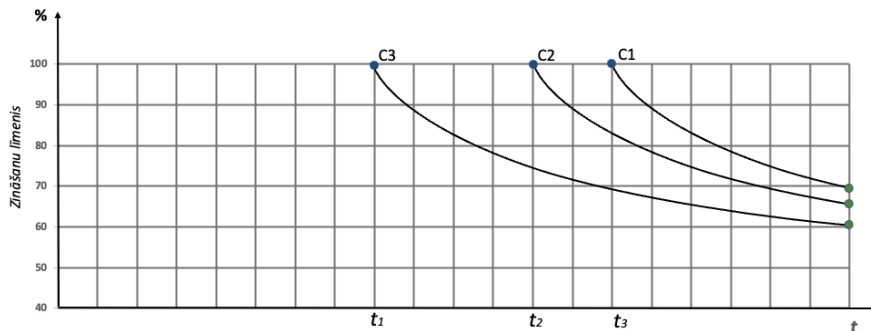
- Attālinātā mācību procesa īstenošanas laiks ir atkarīgs no katra izglītojamā mācību spējām. Balstoties uz mācību laiku, kas ir patērēts kursa apgūvei, ir jānosaka izglītojamā zināšanu apjoms katrai kompetencei mācību procesa īstenošanas laikā.

Mācību plāna ģenerēšanas laikā pastāv ierobežots mācību moduļu apgūšanas laiks. Piemēram, izglītojamais apgūst mācību kompetences pilnībā t.i. 100% un apgaves secība ir  $C1 \rightarrow C2 \rightarrow C3$ , kur kompetenču apgūšanai nepieciešamais laiks ir  $C1[t]=10$  dienas;  $C2[t]=20$  dienas;  $C3[t]=40$  dienas un kompetences nav atkarīgas viena no otras. Ņemot vērā zināšanu aizmiršanas koeficientu, kursa noslēgumā zināšanu līmenis katrā konkrētā kompetencē būs atšķirīgs (2.14. attēls).



2.14. att. Zināšanu aizmiršanas apjoms mācību kompetencēm  $C1 \rightarrow C2 \rightarrow C3$ .

Mainot kompetenču secību  $C3 \rightarrow C2 \rightarrow C1$ , apgūstot sākuma kompetenci ar garāku apgaves laiku, kursa beigās zināšanu līmeņu starpībā kompetencēs samazinās (2.15.att.).



2.15. att. Zināšanu aizmiršanas apjoms mācību kompetencēm  $C3 \rightarrow C2 \rightarrow C1$ .

Mainot mācību kompetenču apgaves secību vai integrējot ar noteiktu kompetenci saistītus moduļus citos kompetenču apgūšanas procesos, var līdzsvarot izglītojamā zināšanu apjomu starp visām kompetencēm mācību kursa noslēgumā, lai sasniegtu minimālu zināšanu līmeni katrā kompetencē. Tādējādi var formulēt šādus apgalvojumus:

- gadījumos, kad izglītojamā zināšanu līmenis kompetencē ir mazāks par programmā definēto minimālo līmeni, kompetences atkārtotai apgūšanai ir nepieciešams izvēlēties

- moduļus, kas iepriekš netika apskatīti;
2. gadījumā, ja mācību programmas apguvei ir definēts maksimālais laiks  $t$ , ir jāievēro, ka kopējais moduļu apguves laiks kompetenču sasniegšanai nevar būt lielāks par kursa kopējo laiku  $\sum_{i=1}^n M_n(t) < K(t)$ .

## 2.7. Otrās nodaļas kopsavilkums

Otrajā nodaļā ir aprakstīts izstrādātais mācību plāna novērtēšanas modelis, kas nosaka mācību plāna atbilstību izglītojamā zināšanu līmenim ar mērķi līdzsvarot kompetenču zināšanu līmeņus, sasniedzot vismaz minimālo zināšanu līmeni katrā kompetencē mācību kursa apguves beigās.

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

Pamatojoties uz pirmajā nodaļā aprakstītajiem datorizētās apmācības standartiem, ir izstrādāts zināšanu līmeņa noteikšanas modelis, ar kuru var aprēķināt izglītojamā zināšanu līmeņa pieaugumu mācību procesa īstenošanas laikā.

Ir aprakstīts, ka mācību programmas apgūšanas laikā zināšanu līmenis pēc laika samazinās, jo izglītojamais daļu no apgūta aizmirst pēc mācību vielas apgūšanas. Ir aprakstīts zināšanu aizmirstības apjoma noteikšanas modelis, kas nosaka mācību vielas atkārtošānu, ņemot vērā izglītojamā zināšanu līmeni katrā mācību procesā iekļautajā kompetencē. Modeļa pamatā ir izmantots Ebingauza zināšanu aizmirstības apjoma koeficienta noteikšanas modelis (2.1.3. sadaļa), kas ir pilnveidots ar zināšanu pārbaudi mācību procesa īstenošanas laikā.

Nodaļā ir 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.

Definēti mācību plāna dzīves ilgumu ietekmējošie faktori, kas nosaka mācību plāna ģenerēšanu, ņemot vērā izglītojamā esošo zināšanu līmeni un mācību satura elementus, kas dinamiski tiek mainīti mācību procesa īstenošanas laikā.

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

Nākamajā nodaļā apskatīta adaptīva mācību plāna ģenerēšanas algoritma izstrāde un tā integrācija mācību satura pielāgošanai AMPS ietvaros. Izmantojot šajā nodaļā aprakstītos modeļus, trešajā nodaļā ir izstrādāta adaptīva mācību plāna pārkonfigurēšanas metode, kas vada mācību plāna izstrādes procesu, līdzsvarojot iegūtās zināšanas.

### **3. ADAPTĪVA MĀCĪBU PLĀNA PĀRKONFIGURĒŠANAS METODES IZSTRĀDE**

Trešajā nodaļā ir izstrādāta adaptīva mācību plāna pārkonfigurēšanas metode, kas, izmantojot plāna novērtēšanas modeļa rezultātus, nodrošina plāna ģenerēšanu ar mērķi samazināt zināšanu līmeņa atšķirības apgūtajās kompetencēs. Izglītojamā zināšanu līmenim pielāgota mācību plāna pārkonfigurēšanas process ir īstenots, izmantojot divas metodes:

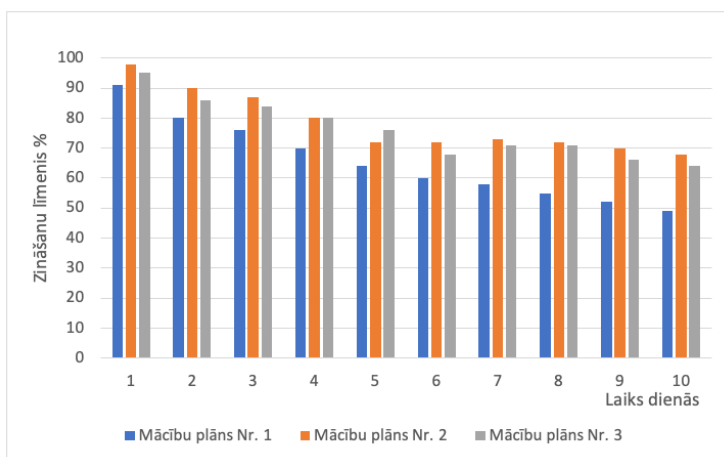
- reālā laikā kontrolēts mācību plāna ģenerēšanas process, kad katrs mācību moduļa izvēles posms ir pielāgots mācību plāna struktūrai, ņemot vērā ievada parametrus, kas ietekmē mācību plāna apguves kvalitāti;
- uz ģenētisko algoritmu balstīta mācību plāna ģenerēšanas metode gadījumos, kad nav definēts mācību paraugplāns programmas īstenošanai.

Mācību plāna pārkonfigurēšanas metode iekļauj sevī vairākus procesus, kas nosaka pārkonfigurēšanas moduļa aktivizācijas nepieciešamību. AMPS nodrošina mācību plāna validāciju, izmantojot informācijas apstrādes procesa atgriezenisko saiti, kas ietver sevī pieejamo resursu, izglītojamā modeļa un viņa/viņas zināšanu līmeņa validāciju.

Izmantojot reālā laikā mācību plāna ģenerēšanas metodi ar iespēju iegūt atgriezenisko saiti izglītojamā zināšanu līmeņa noteikšanai, nodaļā ir piedāvāta algoritmu kopa, kas nodrošina uz izglītojamā zināšanu līmeņa balstīto mācību plāna ģenerēšanu noteiktu kompetenču apgūšanai. Ir aprakstīti algoritmi, kas nodrošina moduļu apguves secības plāna izstrādi, izmantojot mācību moduļa apguves vajadzīgo laiku.

#### **3.1. Mācību plāna maiņas nepieciešamības pamatojums**

Otrajā nodaļā tika apskatīti mācību plāna dzīves ilgumu ietekmējošie faktori, kas nosaka mācību plāna izpildi. Promocijas darba 2.4. sadaļā tika aprakstīts, ka mācību procesa laikā katras kompetences zināšanu līmenis samazinās, ja ar kompetenci saistītie jautājumi nav apskatīti citos mācību moduļos. 3.1. attēlā ir parādītas izglītojamā zināšanu līmeņa izmaiņas mācību kursā apgūtajai kompetencei, izmantojot trīs dažādas mācību moduļu pasniegšanas secības. Mācību kursa ilgums ir 10 nodarbības, intensitāte ir viena nodarbība dienā. Kompetences apgūšanai kursā ir pievienoti 40 mācību moduļi un 10 zināšanu pārbaudes moduļi. Moduļu pasniegšanas secību ir saistīta.



3.1. att. Izglītojamā zināšanu līmenis mācību kursa apguves laikā.

*Mācību plāns Nr.1* ir parauga mācību plāns, *Mācību plāns Nr. 2* un *Mācību plāns Nr. 3* ir manuāli pielāgoti izglītojamā zināšanu līmenim.

3.1. attēlā ir parādīts, ka izglītojamo zināšanu līmenis samazinās mācību programmas apguves laikā, izmantojot iepriekš izstrādāto mācību plānu (*Mācību plāns Nr.1*). Nodrošinot manuālu mācību plāna pielāgošanu izglītojamā zināšanu līmenim (*Mācību plāns Nr. 2* un *Mācību plāns Nr. 3*), mācību kursā izglītojamā sasniegtais zināšanu līmenis ir atkarīgs no mācību moduļu pasniegšanas secības. Parauga mācību plāns neparedz iespēju atkārtot jau iepriekš apgūtas zināšanas. *Mācību plāna Nr. 2* un *Mācību plāna Nr. 3* nodrošina neapgūto informāciju atkārtošānu, balstoties uz zināšanu pārbaudes moduļiem, samazinot jauno tēmu apgūšanas apjomu. Tādējādi, izmantojot manuāli ģenerēto mācību plānu, izglītojamā zināšanu līmenis apskatītajā kompetencē pieaug atkarībā no mācību moduļu iekļaušanas secības, bet nevar sasniegt maksimālo zināšanas līmeni, jo netiek apgūti visi moduļi, ja nav iespējams palielināt kursa ilgumu.

Kā jau tika aprakstīts otrajā nodaļā, mācību apgūšanas laikā zināšanu līmenis ir dinamiska vērtība, kas var mainīties, atkarībā no izvēlētā mācību plāna. Mācību plānu var uzskatīt par dzīvotspējīgu tik ilgi, kamēr spēkā ir šādi nosacījumi:

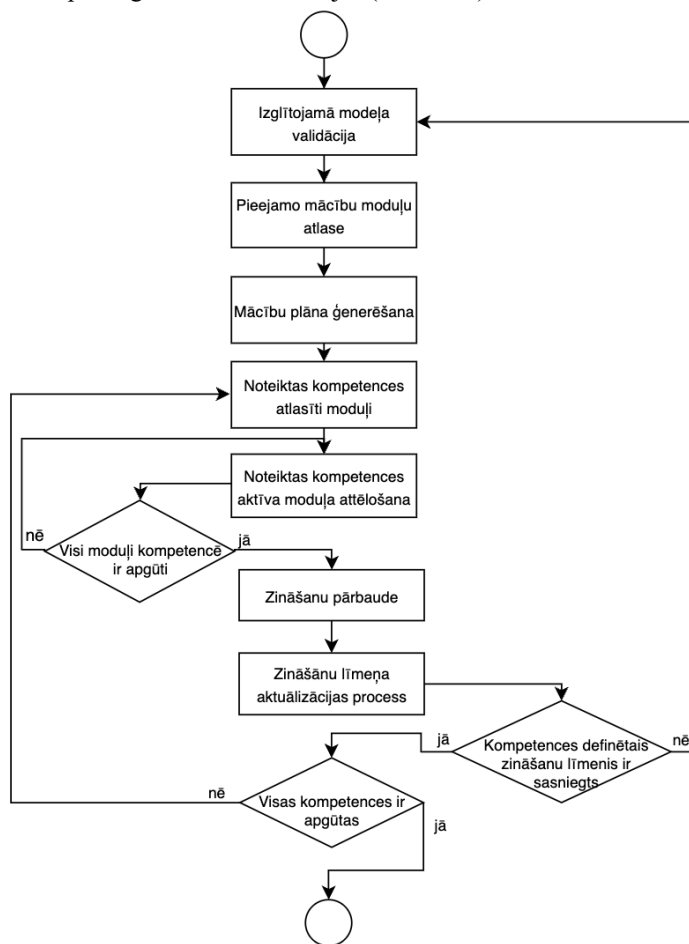
- laiks, kas ir nepieciešams atlikušo mācību moduļu apgūšanai, ir lielāks nekā neapgūto moduļu laiku summa;
- izglītojamā kompetenču zināšanu līmenis ir lielāks par mācību programmā definēto robežvērtību;
- izglītojamais neturpina virzību mācību kursa programmas ietvaros, un laiks starp mācību moduļu izpildēm ir mazāks vai vienāds ar definētu robežvērtību.

### 3.2. Adaptīva mācību procesa vadības algoritms

Lai samazinātu mācību plāna vadības procesa atkarību no manuālas vadības, ko nodrošina mācību procesa administrators, promocijas darbā tiek izmantots mācību procesa pārvaldības

modelis, kas nodrošina iepriekš sagatavotas mācību kursa īstenošanu automātiskā režīmā, pielāgojot mācību informācijas pasniegšanas secību izglītojamā vajadzībām un spējām. Kā jau tika minēts 1. nodaļā, AMPS uzdevums ir nodrošināt mācību moduļu pielāgošanas secību izglītojamā vajadzībām katrā mācību procesa īstenošanas posmā. Lai pietuvinātu mācību procesu reālai klātienē izglītības formai, ir izstrādāts algoritms, kas nodrošina tikai aktīva mācību moduļa attēlošanu. Brīva moduļu secības izvēle mācību kursa ietvaros nav atļauta, kas neļauj izglītojamām novirzīties no mācību plāna, bet ļauj kontrolēt viņa/viņas kompetenču zināšanu līmeni.

Adaptīvs mācību procesa vadības algoritms bez mācību plāna maiņas ietver sevī moduļus, kas nosaka mācību plāna ģenerēšanas vadlīnijas (3.2. attēls).



3.2. att. Adaptīvā mācību procesa vispārīgs algoritms.

Katrs algoritma modulis, kas ir attēlots 3.2. attēlā, detalizēti tiek aprakstīts nākamajās sadaļās.

### 3.2.1. Izglītojamā modeļa validācija

Izglītojamā modeļa validācija ir process, kas ir saistīts ar izglītojamā kompetenču zināšanu līmeņu noteikšanu mācību procesa īstenošanas laikā. Izglītojamā modelis var atrasties divos stāvokļos:

- *sākotnējais izglītojamā stāvoklis* – sistēma izmanto iepriekš definētus datus izglītojamā modeļa ģenerēšanai. Izglītojamā modeļa iepriekš definēto datu kopu iegūst viņam/viņai pirmo reizi reģistrējoties sistēmā.
- *pilnvērtīgs izglītojamā stāvoklis* – visi izglītojamā modeļa rādītāji, kas ir saistīti ar mācību procesa īstenošanu, ir identificēti un satur nepieciešamās vērtības (izglītojamā zināšanu līmenis katrā mācību kompetencē), ko var izmantot mācību plāna ģenerēšanas posmā lēmuma pieņemšanai. Ja vismaz viens no mācību procesā iesaistītajiem rādītājiem nav identificēts, to nevar uzskatīt par pilnvērtīgu izglītojamā modeli.

Izglītojamā modeļa validācijas procesa uzdevums ir identificēt katras kompetences zināšanu līmeni. Gadījumā, ja kompetences zināšanu līmenis nav noteikts, sistēma veic kompetenču zināšanu līmeņa noteikšanu, izmantojot adaptīva mācību moduļu atlases procesa ietekmējošo faktoru novērtēšanu (2. nodaļa), kas ļauj identificēt sākotnējo zināšanu līmeni.

Promocijas darbā ir piedāvāts izglītojamā zināšanu līmeņa kontroles procesa algoritms, kas nosaka izglītojamā katras kompetences zināšanu līmeni mācību procesa īstenošanas laikā:

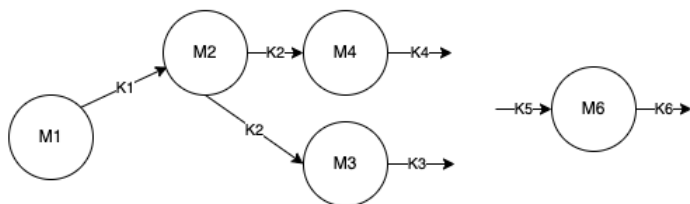
```
if c[lim]==0:
    if (indentify[c]):
        detect[c]
    else:
        for i in work_module:
            if (i[c]=c):
                if (i[c_in]==0):
                    execute_mod(work_module[i])
                elif(i[c_in] in user_kompetence):
                    validate(work_module[c_in],user_kompetence)
                    pos=find_komp(c_in,user_kompetence)
                    execute_mod(work_module[pos])
            else:
                c[lim]=0
        elif c[lim]<c_min:
            execute_mod(repeat_module(c))
        else:
            revalidate(c)
```

Ja sistēma nevar identificēt kompetenču zināšanu sākotnējo līmeni, tad tiek pārbaudīti atbilstošajai kompetencei pieejamie mācību moduļi no datu kopas *work\_module*, kur ievada parametri neprasa ar apskatīto kompetenci saistītas zināšanas. Katras iterācijas reizē (intervālu norāda mācību programmas administrators mācību kursa uzstādīšanas laikā) izglītojamā zināšanu līmenis tiek pārreķināts, izmantojot *revalidate()* funkciju, kas saskaņā ar promocijas darba 2.1. sadaļu veic izglītojamā zināšanu līmeņa novērtējumu.

Dažos darbos (*Chen, 2008; Stern un Woolf, 1998; Timothy u. c., 2011*) tiek piedāvāts pilnveidot izglītojamā modeļus, ņemot vērā mācību kursa moduļu izpildes rezultātus vai veicot



iepriekš izstrādātu zināšanu validācijas moduļa izpildi, kas pārbauda mācību plānam atbilstošo kompetenču zināšanu līmeni mācību kursa apgūšanai. Pamatojoties uz izglītojamā modeli un mācību kursā realizēto kompetenču skaitu, izglītojamā esošā zināšanu līmeņa noteikšanas process palielina kopējo nepieciešamo laiku mācību kursa apgūšanai. Piemēram, īstenojot regulārās, ar likumu noteiktās E95 koda apmācības šoferiem visam apmācības procesam ir paredzētas 5 akadēmiskās stundas 5 gadu laikā. Saskaņā ar Direktīvu 2003/59/EK apmācības mērķis ir profesionālu vadītāju kvalifikācijas celšana un viņu atdalīšana no neprofesionālajiem vadītājiem. Lai realizētu direktīvā noteiktās prasības un sniegtu izglītojamam atbilstošas zināšanas, kas atbilst viņa zināšanu līmenim un izvēlētajai kategorijai, izglītojamam uzsākot mācību procesu ir nepieciešams pielāgot mācību plānu. Direktīvā noteiktā 5 stundu apmācība nevar tikt pagarināta, pievienojot papildu sākotnējo zināšanu pārbaudes moduli, kā arī zināšanu pārbaudes modulis nevar būt iekļauts apmācību stundās. Mācību plāns nodrošina 5 kompetenču apgūšanu. Katras kompetences apgūšanai ir pieejama moduļu kopa  $M_i$ . Katrai moduļu kopai ir definēta nepieciešama kompetence to apgūšanai. 3.3. attēlā ir parādīts piemērs, kas raksturo 5 kompetenču apgūšanu mācību kursa ietvaros.



3.3. att. Mācību procesā pieejamo kompetenču mijiedarbība.

Kursā eksistē moduļu kopa, kur ievada kompetence nav apskatīta noteikta kursa ietvaros ( $M6$  ar ievada kompetenci  $K5$ ), tad mācību plāns tiek izveidots, izmantojot tikai pieejamo kompetenču ievadparametrus, novietojot moduļu kopu ar neidentificētu ievadkompetenci  $M6$  kursa beigās.

Moduļu kopai  $M6$  kompetence  $K5$  nav identificēta un sasniedzamais rezultāts  $K6$  netiek izmantots kā ievada kompetence kādai citai mācību moduļu kopai.

### 3.2.2. *Pieejamo mācību moduļu atlase*

Pieejamo mācību moduļu atlase ir process, kas atlasa moduļus, ņemot vērā kompetences prasības. Katram mācību modulim ir ierobežojumi, kas nosaka nepieciešamas prasības moduļa apgūšanai un sasniedzamos rezultātus, kas norāda, kādas kompetences tiek apgūtas. Tiek pieņemts, ka kompetence var būt:

- pilnībā apgūta kompetence – zināšanu līmenis mācību kursa noslēgumā nebūs mazāks par kursā definēto minimumu. Saskaņā ar 2. nodaļā dotu modeli mācību procesa īstenošanas periodā katrā laika vienībā  $t$  ir iespēja noteikt katrā kompetencē izglītojamā zināšanu līmeni;
- daļēji apgūta kompetence – kompetences zināšanu līmenis tiecas uz  $K[c] \rightarrow \min$ , bet laika trūkuma dēļ tas nevar tikt sasniegts. Šo kompetenci dēvē arī par “pazaudēto kompetenci”

(Murugappan un Ramesh, 2022), kas tiek noteikta, ņemot vērā zināšanu aizmiršanas līmeni;

- neapgūta kompetence – kad netiek apskatīti atbilstoši kompetencei piesaistītie mācību moduļi vai to apgūšana nav pabeigta.

AMPS uzdevums ir realizēt esošo mācību moduļu sadalījumu divās kategorijās: tādos, kas vēl nav apskatīti, bet var tikt iekļauti mācību kursā, un tādos, kas var tikt izmantoti mācību materiāla atkārtošanai.

```
for c in kompetence:
    if c[value]<Kcmin
        for i in module:
            if i[c]==c:
                if i[c]>U[c] and i[complete]!=1:
                    i[complete]=1
                elif i[c]<=U[c] and i[complete]==0:
                    repeat_module[x]=i
            else:
                work_module[x]=i
order_desc(repeat_module);
order_desc(work_module);
```

Programmas fragmenta izpildes rezultātā sistēma ģenerē divas datu kopas:

- **work\_module** – kopu, kas satur informāciju par katrai kompetencei atbilstošajiem neapgūtajiem moduļiem;
- **repeat\_module** – kopu, kas ietver neapgūtos moduļus no apskatītajam kompetencēm. Datu kopas elementi tiek izmantoti zināšanu atkārtošanai gadījumā, ja izglītojamā zināšanu līmenis noteiktajā kompetencē samazinās zemāk par definēto  $K[c_{(min)}]$  robežvērtību.

### 3.2.3. Mācību plāna īstenošana

Mācību plāna īstenošana ir process, kas nodrošina sākot ar pirmā moduļa attēlošanu no mācību plāna kopas. Uzsākot moduļa izpildi, sistēma pārbauda, vai izpildās nosacījumi, kas nosaka nepieciešamo ievadprasību izpildi moduļa aktivizācijai. Kā jau tika minēts pirmajā nodaļā, mācību plāna modulis ir:

- mācību modulis;
- zināšanu pārbaudes modulis;
- citi moduļi (piemēram, ievada informācija, skaidrojumi, atsauces utt.), kas neietekmē vai daļēji ietekmē kompetenču zināšanu līmeņa pieaugumu apskatāmajā tēmā.

Mācību plāna īstenošanā tiek uzskaitīts laiks, ko izglītojamais patērē, izpildot aktivitātes, kas ir saistītas ar moduļu izpildi un tehnisko parametru validāciju, izmantojot iepriekš definēto laika intervālu, ar tehniskiem risinājumiem saistītu problēmu identificēšanai un klasifikācijai, izmantojot 2. nodaļā aprakstītos modeļus.

Gadījumā, ja tehnisko parametru koeficienti ir mazāki nekā mācību moduļa aktivizācijai nepieciešamās robežvērtības, tad mācību plāna īstenošanas process inicializē jaunai tehniskajai videi atbilstoša mācību plāna izstrādi un identificē aktīvo izpildāmo moduli kā neapgūtu, bet

ļauj izglītojamām manuāli izvēlēties šī moduļa apguvi gadījumos, kad tehniskie radītāji pārsniedz definētās robežvērtības.

### 3.2.4. *Izglītojamā zināšanu līmeņa noteikšana*

Zināšanu līmeņa noteikšanas process ir saistīts ar sasniegto kompetenču novērtējumu katrā mācību aktivitātē. Kā minēts 2. nodaļā, promocijas darbā tiek uzskatīts, ka katrs mācību modulis nodrošina ietverto kompetenču apgūšanu 100% apmērā. Izglītojamā zināšanu līmenis ir novērtēts, izmantojot formatīvo vērtēšanas veidu, kas ir nepārtraukta mācību procesa sastāvdaļa un nodrošina izglītojamam un mācību procesa administratoram atgriezenisko saiti par izglītojamā tā brīža sniegumiem salīdzinājumā ar plānotajiem sasniedzamajiem rezultātiem. Vērtēšanas rezultāts nosaka apgūto kompetenču skaitu. Promocijas darbā tiek pieņemts, ka zināšanu līmenis, ko izglītojamais sasniedz, apgūstot mācību vielu, ir vienāds ar 100%. Gadījumā, ja pildot zināšanu validācijas posmu, izglītojamais iegūst zemāku rezultātu, tad sistēma nosaka apgūto zināšanas apjomu atbilstoši iegūtajiem procentiem no maksimālā apjoma.

Zināšanu līmeņu noteikšana ir ciklisks process, kas atkārtojas tik ilgi, kamēr izglītojamā zināšanu līmenis nesasniedz mācību kursā definēto minimālo sliekšni kompetenču apgūšanai  $K[c]_{min}$ .

Zināšanu līmeņa noteikšanas process nodrošina visu apgūto kompetenču kopas zināšanu līmeņu noteikšanu atbilstoši izglītojamā apgūtajām zināšanām un to aizmiršanas apjomam. Izglītojamā zināšanu līmeņa noteikšanai ir piedāvāts izmantot trīs vērtības:

- maksimālais rezultāts – zināšanu līmenis  $K[c]_{max}$  katrā kompetencē  $c$ , ko izglītojamais var sasniegt, ievērojot izstrādātā mācību plāna laika prasības;
- prognozētais rezultāts – zināšanu līmenis  $K[c]_m$  katrā kompetencē  $c$  noteiktajā mācību laikā  $t$ , ko izglītojamais var sasniegt, turpinot mācību procesu, ievērojot mācību plāna laika prasības;
- esošais rezultāts – izglītojamā zināšanu līmenis  $K[c]$  noteiktajā laikā.

Katrs mācību modulis, kas ir iekļauts mācību kursā, satur informāciju par laiku, kas ir nepieciešams tā apguvei. Atkarībā no mācību kursa struktūras, laiks, kas ir nepieciešams bāzes kompetenču apgūšanai, ir:

$$t_{main} = \sum_{n=1}^{i=1} M_i(t) \in K[M(t)] \quad (3.1.)$$

kur  $M_i(t)$  – mācību moduļa apgūšanas laiks;

$K[M(t)]$  – mācību kursā visu iekļauto moduļu apgūšanas laiks.

Bāzes kompetenču apgūšanas laikā sistēma uzglabā informāciju par katrā mācību posmā sasniegto rezultātu, kas ļauj noteikt novirzi no maksimālā rezultāta gadījumos, kad mācību procesam izlietotais laiks  $t \leq t_{main}$ , kas apliecina, ka izglītojamais ir piedalījies mācību programmas apgūšanā, ievērojot mācību plānā paredzēto laiku, bet nav sasniedzis maksimālo zināšanu līmeni visās kompetencēs.

Bāzes moduļu apgūšana ir obligāta un nevar tikt samazināta mācību programmas īstenošanas laikā, tādēļ izglītojamais var apgūt mācību kursu tikai gadījumā, ja laiks, kas ir

nepieciešams bāzes kompetenču apgūšanai, ir mazāks nekā mācību kursam atvēlēts laiks. Izvēles kompetenču apgūšanai izglītojamais var atvēlēt laiku, kas nepārsniedz  $t_{add}$  laiku:

$$t_{add} = K(t) - \sum_{i=1}^{n-1} M_i(t) \in K[M(t)].$$

Mācību kursa īstenošanas laikā izglītojamais var īslaicīgi pārtraukt mācības. Tādējādi tiek samazināts katrai izvēles mācību kompetencei atvēlētais laiks, jo mācību kursa apguves laiks ir nemainīgs. Ja mācību programmā ir paredzēts apgūt stingri noteiktu izvēles kompetenču skaitu, tad programma nosaka, kāds būs prognozētais mācību rezultāts katrā izvēles kompetencē.

### 3.3. Mācību plāna ģenerēšanas algoritmi

Mācību plāna ģenerēšanas algoritms sastāv no divām saistītām daļām: mācību moduļu iekļaušanas kompetenču apgūšanai un kompetenču apgūšanas secības noteikšanas. Ņemot vērā apgūtās informācijas aizmiršanu tiek pieņemts, ka, palielinot intervālu starp mācību nodarbībām, bet nemainot to skaitu, samazinās zināšanu līmenis mācību kursa noslēgumā un ir laiks mācību vielas atkārtotai.

#### 3.3.1. Mācību moduļu kārtotāšanas algoritms

Tiek definēts mācību plāna konfigurācijas grafs  $G$ , kas sastāv no virsotņu kopas  $V = \{1, 2, \dots, n\}$ , kas attēlo mācību moduļus. Satura izstrādes vai pilnveidošanas procesā var parādīties jauni mācību moduļi, kas sniedz zināšanas, kuras ir nepieciešamas noteiktu kompetenču apgūšanai. Kā jau tika minēts iepriekš, mācību modulis ir aprakstīts, izmantojot ieejas prasības moduļa apguvei un laiku tā izpildei, kā arī sasniedzamos rezultātus. Iespējams arī gadījums, ka moduļiem nav definētas prasības to apguvei, tādēļ kārtotāšanas algoritms tos var izvietot jebkurā vietā mācību plānā.

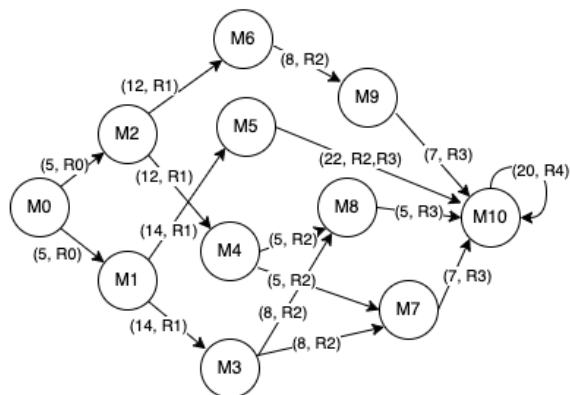
Piemēram, ir aprakstīti pieejamie moduļi, kas ir iekļauti kompetences  $c_1$  apgūšanai (3.1. tabula).

3.1. tabula

Mācību moduļu apguves nosacījumi

Nepieciešamās prasības moduļa izpildei	Mācību moduļa nosaukums	Sasniedzamie rezultāti	Kompetence	Nepieciešamais laiks moduļa apguvei (laika vienības)
-	M0	R0	$c_1$	5
R0	M1	R1	$c_1$	14
R0	M2	R1	$c_1$	12
R1	M3	R2	$c_1$	8
R1	M4	R2	$c_1$	5
R1	M5	R2, R3	$c_1$	22
R1	M6	R2	$c_1$	8
R2	M7	R3	$c_1$	7
R2	M8	R3	$c_1$	5
R2	M9	R3	$c_1$	7
R3	M10	R4	$c_1$	20

Katram modulim ir noteikts minimālais tā apguvei nepieciešamais laiks. Tādējādi  $c_l$  kompetences moduļu mijiedarbību var attēlot, izmantojot svērtu grafu, kur grafa virsotnes atbilst mācību moduļiem un svāri norāda nepieciešamo laiku moduļu apguvei un sasniedzamos rezultātus (3.4. att.).



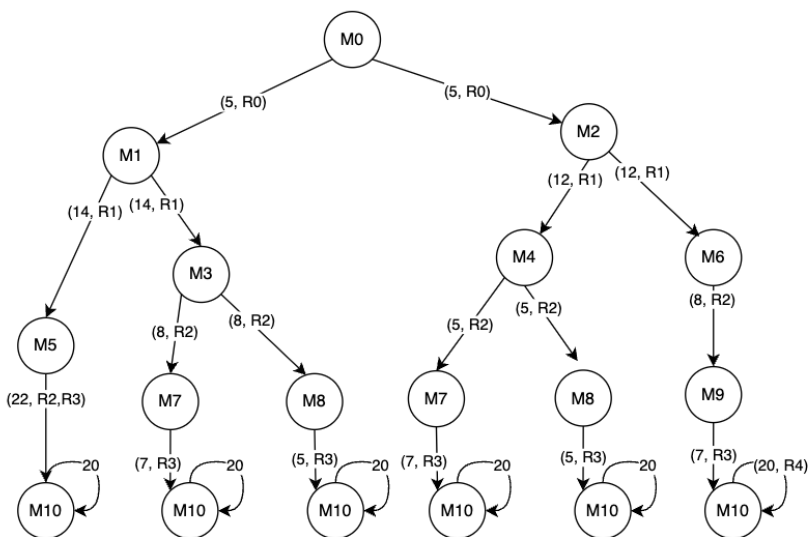
3.4. att. Mācību moduļu mijiedarbība kompetences  $c_l$  apgūšanai.

Izstrādājot mācību plānu, ir jāidentificē minimālo laiku, kas ir nepieciešams katras kompetences apgūšanai, izmantojot mācību moduļu datu kopu. Īsāka mācību laika noteikšanai, darbā tiek piedāvāts izmantot Deikstras algoritmu, kas nosaka īsāko ceļu grafā.

Nepieciešamo minimālo laiku mācību kompetenču zināšanu apgūšanai nosaka programmatūras funkcija, kas izmanto Deikstras algoritmu, pārbaudot, vai kompetenci iespējams apgūt noteiktā laikā. Pārbaude pamatojas uz aprakstītajām metodēm: moduļu atlasē procesu un tehniskā nodrošinājuma ietekmes faktoru noteikšana.

Veidojot mācību plānu, izglītojamā zināšanu līmenis ir jālīdzsvaro katrā mācību kursā apgūtajā kompetencē. Tādēļ, nosakot kompetenču apgūšanas laiku, tiek definēta moduļu kopa, kas to ievēro. Promocijas darbā ir pamatots, ka, balstoties uz zināšanu aizmiršanas apjomu, gadījumos, kad mācību plāna izstrādes laikā ir alternatīvas moduļu secību izvēles, ir ieteikts izmantot moduļu secību, kur laiks, kas ir nepieciešams pirmreizējas kompetences apgūšanai, tiecas uz maksimumu, bet nepārsniedz maksimālo laiku, kas ir atvēlēts tās apgūšanai.

Izveidojot iespējamo ceļu pārmeklēšanu grafā, tiek noteikti visi iespējamie ceļi, kas nodrošina mācību rezultātu M10 sasniegšanu. 3.5. attēlā tiek attēlots mācību moduļu mijiedarbības orientēts grafs koka veidā.



3.5.att. Mācību moduļu mijiedarbība kompetences  $c_I$  apgūšanai.

Kopā (3.5. att.) ir 6 ceļi ar ceļa garumu 47, 49, 52, 54 un 61:

- 1. ceļš:  $M0 \rightarrow M2 \rightarrow M4 \rightarrow M8 \rightarrow M10$ , garums 47;
- 2. ceļš 2:  $M0 \rightarrow M2 \rightarrow M4 \rightarrow M7 \rightarrow M10$ , garums 49;
- 3. ceļš 3:  $M0 \rightarrow M2 \rightarrow M6 \rightarrow M9 \rightarrow M10$ , garums 52;
- 4. ceļš 4:  $M0 \rightarrow M1 \rightarrow M3 \rightarrow M7 \rightarrow M10$ , garums 54;
- 5. ceļš 5:  $M0 \rightarrow M1 \rightarrow M3 \rightarrow M8 \rightarrow M10$ , garums 52;
- 6. ceļš 6:  $M0 \rightarrow M1 \rightarrow M5 \rightarrow M10$ , garums 61.

Laiks, kas ir nepieciešams mācību moduļu apgūšanai, nepārtraucot mācību procesu, neietekmē sasniedzamo rezultātu, bet tas mainās atkarībā no informācijas pasniegšanas veida vai mācību procesā izmantotās pedagoģiskās metodes.

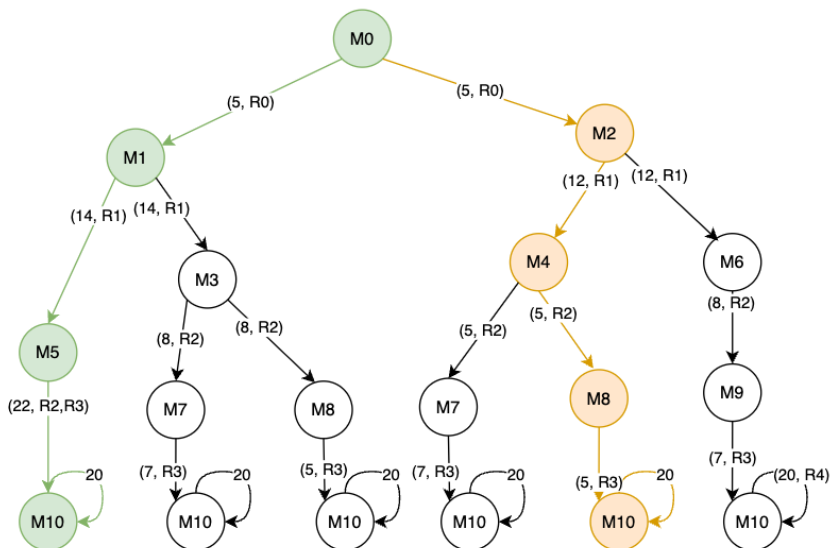
Kad ir izvēlēta moduļu secība (piemēram, 6. ceļš), mācību moduļi, kas tiek izmantoti ceļa konstruēšanā, pēc to apgūšanas tiek identificēti kā izpildīti (piemēram,  $M0, M1, M5$  un  $M10$ ).

Tādējādi, ja zināšanu līmenis apskatāmajā kompetencē ir mazāks par minimālo robežu  $K[c:(min)]$ , sistēma iekļauj ar apskatāmo kompetenci saistītus moduļus mācību plānā. Ģenerējot jaunu mācību plānu, no datu kopas tiek atlasīti tikai iepriekš neapskatīti moduļi. Modulis  $M10$  ir noslēdzošais modulis kompetences apguvei, kurā notiek izglītojamā zināšanu pārbaude, tāpēc šis modulis tiek iekļauts jaunajā plānā. Piemēram, ja izglītojamais apguva mācību kompetenci  $K[c_I]$ , izmantojot secību  $M0 \rightarrow M1 \rightarrow M5 \rightarrow M10$ , tad, veicot atkārtotu kompetences apgūšanu, sistēma izmantos jaunu mācību plānu, ģenerējot piecus iespējamus ceļus:

- 1. ceļš:  $3 \rightarrow 8 \rightarrow 10$ , garums 33;
- 2. ceļš:  $3 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ , garums 35;
- 3. ceļš:  $2 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10$ , garums 47;
- 4. ceļš:  $2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 10$ , garums 42;

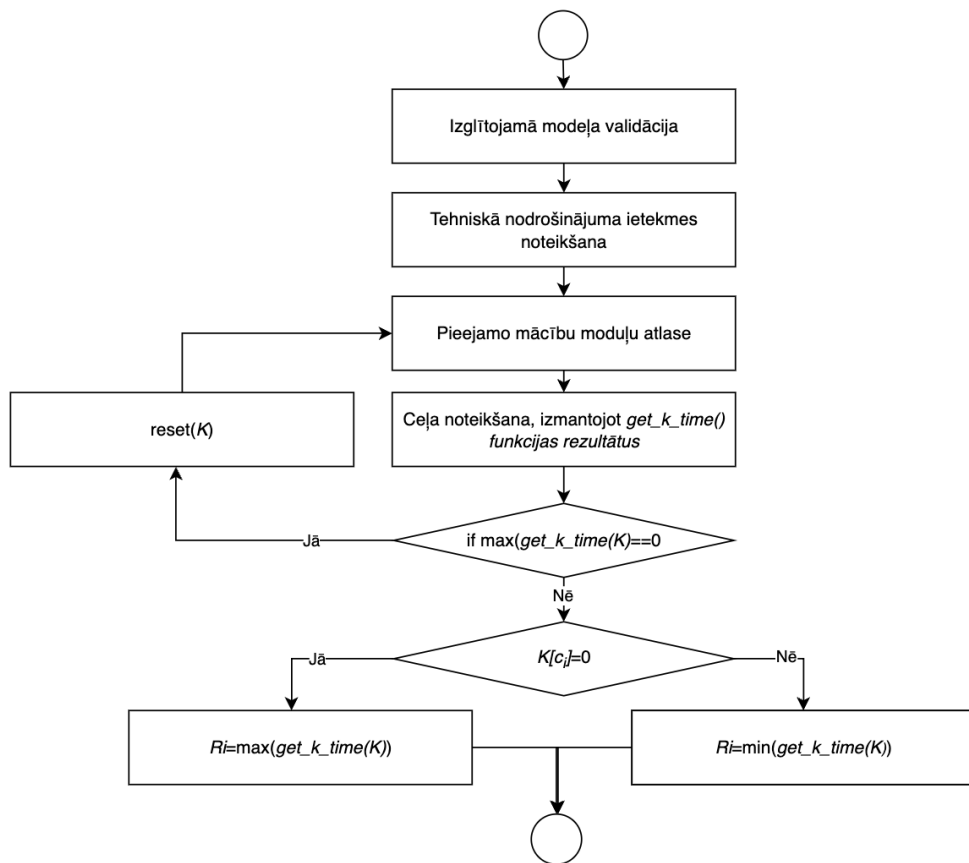
- 5. ceļš:  $2 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 10$ , garums 44.

Veicot ceļa atlasi sistēma izvēlas tikai pilnus apguves ceļus, tādēļ 1. ceļš un 2. ceļš netiek apskatīti. Mācību moduļu secības izvēle atkārtotai kompetences  $c_1$  apgūšanai tiek attēlotā 3.6. attēlā.



3.6. att. Mācību moduļu izvēle atkārtotai kompetences  $c_1$  apgūšanai.

Atkārtoti apgūstot kompetenci, ņemot vērā mācību kursa laika ierobežojumus, sistēmas uzdevums ir atkārtoti iekļaut mācību plānā tēmas, kas ir saistītas ar kompetenci, kurā izglītojamā zināšanu līmenis ir zemāks par kursa robežvērtību  $K[c_i(min)]$ . Promocijas darbā piedāvāts izvēlēties īsāko ceļu atkārtotai kompetences apguvei, kas ir pamatots ar laika ierobežojumu. Mācību moduļu kārtrošanas algoritms vienas kompetences ietvaros ir redzams 3.7. attēlā.



3.7. att. Mācību moduļu kārtēšanas algoritms vienas kompetences ietvaros.

Moduļu atlasē 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.

### 3.3.2. Kompetenču kārtēšanas algoritms

Mācību kompetenču kārtēšanas algoritma mērķis ir līdzsvarot iegūtos zināšanu līmeņus starp visām apskatītajām kompetencēm. Izmantojot 2.1. sadaļā aprakstīto zināšanu līmeņa noteikšanu, 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 3.3.1. sadaļā aprakstīto mācību moduļu kārtēšanas algoritmu. Moduļu atlasē rezultāts katrā kompetencē būs atšķirīgs. 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:

$$MP_i = \{Kmain_1, Kmain_2, \dots, Kmain_n\} \cup \{Kadd_1, Kadd_2, \dots, Kadd_m\} \cup \{Kopt_1, Kopt_2, \dots, Kopt_z\} = \overline{1, n},$$

kur  $Kmain$  – mācību programmā iekļautā bāzes kompetence;

$Kadd$  – mācību programmā iekļautā izvēles kompetence;

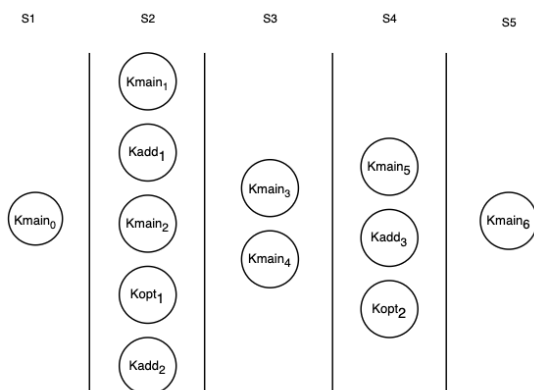
$Kopt$  – mācību programmā iekļautā papildus kompetence.

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

Mācību kompetenču iekļaušanas uzdevums mācību plānā ir sadalīts divās daļās:

- noteikt mācību programmā iekļaujamo kompetenču skaitu pieejamām kompetencēm, ko reglamentē mācību programmas prasības. Tādēļ tiek izveidota datu kopa, kas satur informāciju par iekļaujamām kompetencēm un to apgūšanai nepieciešamo laiku, ko nosaka, izmantojot mācību moduļa kārtošanas algoritmu;
- atlasīt papildus kompetences, kas papildina zināšanu apjomu mācību kursā iekļautajām kompetencēm.

Tiek pieņemts, ka visas kompetences, kas ir iekļautas mācību kursā, var būt sadalītas kategorijās. Kompetences ir noteiktas mācību kursa aprakstā, kur ir ieteikta kompetenču apgūšanas vieta mācību kursa ietvaros. Var uzskatīt, ka mācību kompetenču kopu var attēlot kā parādīts 3.8. attēlā, sadalot kompetences pēc to apgūšanas secības. Kategorijā  $S1$  iekļauta kompetence vienmēr tiks iekļauta plānā kā pirmā kompetence, kas atbilst sākum kompetencei. Tālāk seko  $S2$ ,  $S3$  un  $S4$  kompetenču kategorijas un kā noslēdzošu kompetenci apgūst no kategorijas  $S5$ .

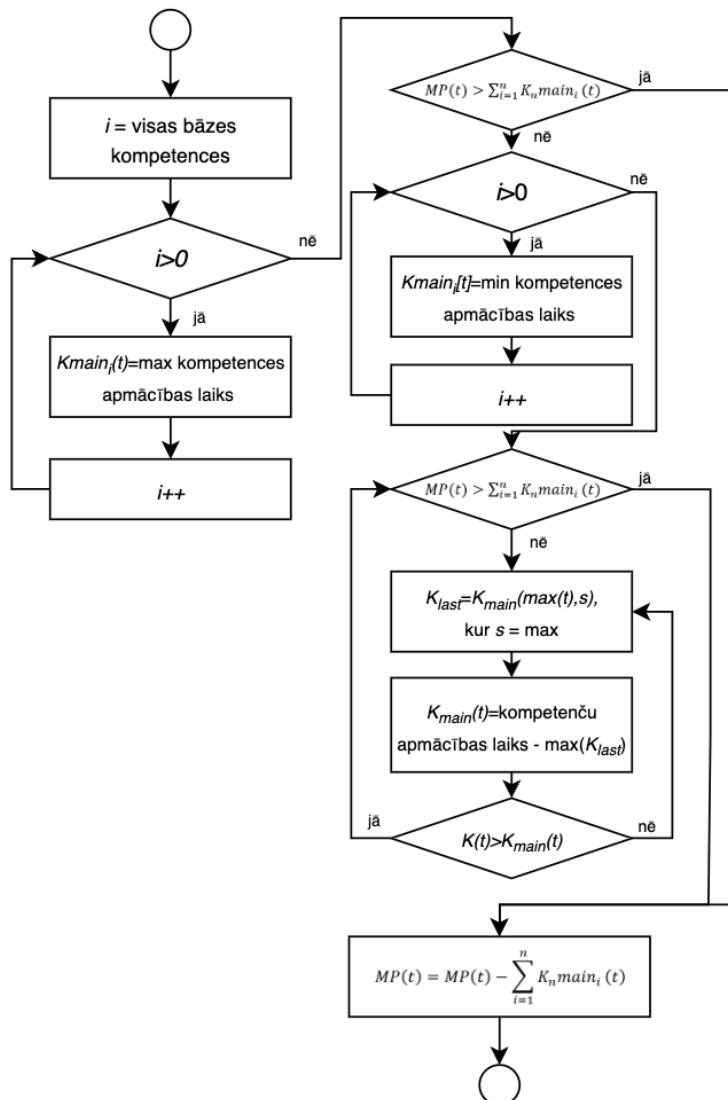


3.8. att. Kompetenču sadalījums, izmantojot mācību kursā definēto secību.

Piemēram, mācību kursā “Programmēšanas valodas un kompilatori”, kas tiek realizēts 15 stundās, ir iekļautas 12 kompetences, kas ir sadalītas 5 līmeņos (3.8. attēls). Katrā blokā iekļautās kompetences nav saistītas savā starpā un nav norādīta to apgūšanas secība.

### Bāzes kompetenču izvēles algoritms

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



3.9. att. Bāzes kompetenču izvēles algoritms.

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 ir redzams 3.9. attēlā.

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. Ja visu kompetenču apgūšanas laiks pārsniedz mācību kursam atvēlēto laiku, tad tiek izvēlēts mazākais katras kompetences apguves laiks.

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. Bāzes mācību kompetences var iedalīt divās daļās (Letina, 2020):

- individuāla kompetence – kompetence, kas nesatur saiti ar citām mācību kursā iekļautajām kompetencēm;
- kopas kompetence – kompetence, kas ir sasaistīta ar citām mācību kursā iekļautajām kompetencēm.

Mācību kompetenču sasaiste ar citām mācību kursā iekļautajām kompetencēm norāda uz mācību vielas atkārtotāšanu, atkārtojot to, kas ir apgūts iepriekš.

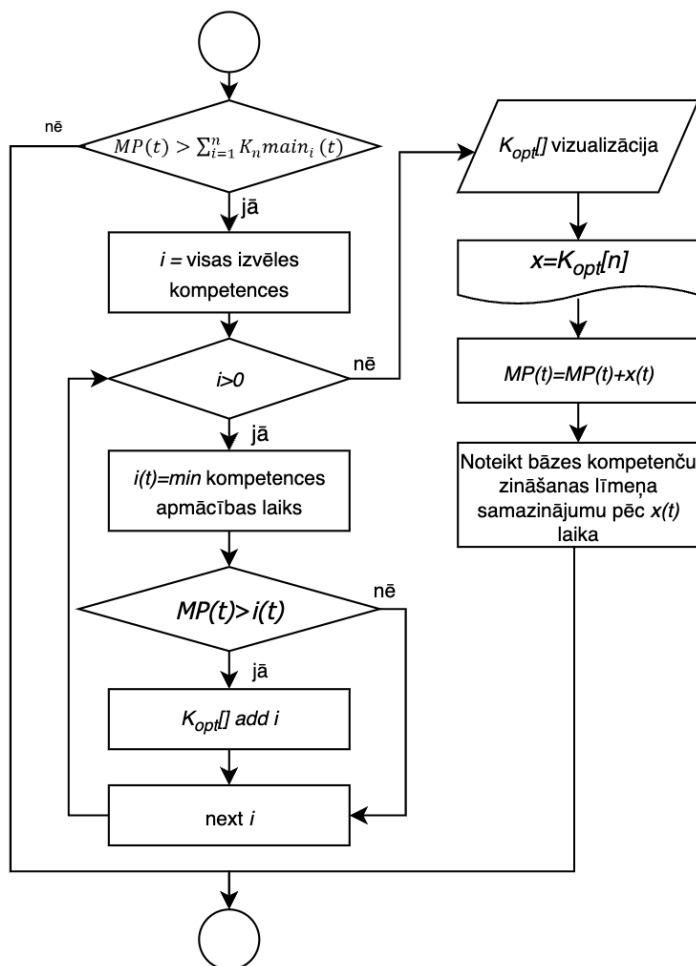
Bāzes kompetenču izvēles laikā sistēma identificē, kāds ir nepieciešamais laiks visu kompetenču apgūšanai, ievērojot izglītojamā zināšanu līmeņu līdzsvarošanu starp visām mācību programmā iekļautajām kompetencēm.

### **Izvēles 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 ir redzams 3.10. attēlā.



3.10. att. Izvēles kompetenču izvēles algoritms.

Izvēles kompetenču apgūšanas laikā tiek lietots zināšanu aizmiršanas 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 atkārtοšanai.

### Papildu kompetenču izvēles algoritms

Papildu kompetenču apgūšanas laiks ir laiks, kas neietekmē kopējo mācību kursa apgūšanas laiku, jo papildu kompetences ietver ieteicamu papildus 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.

### 3.3.3. Ģenētiskā algoritma izmantošana mācību plāna ģenerēšanai

Gadījumos, kad neeksistē mācību kursa paraugplāns vai ir nepieciešams izstrādāt individuālo mācību plānu pirms mācību procesa iesākšanas, ir jāveic sākotnēja plāna ģenerēšanu, izmantojot moduļos definētas prasības. Pārmeklēšanas funkcijas darbības laiks ir atkarīgs no kopēja moduļu skaita un izmantotās datu struktūras ieejas datu un rezultātu uzglabāšanai.

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)

Mācību plāna ģenerēšanai tiek izmantots ģenētiskais algoritms, ņemot vērā definētas kursa prasības, izveido atbilstošu mācību moduļu secību no visu iespējamo moduļu kopas (*Agbonifo* un *Obolo*, 2018; *Azough* u. c., 2010; *Hovakimyan* u. c., 2004; *Madani* u. c., 2017).

Ģenētiskais algoritms ir problēmu risināšanas stratēģija, kurā tiek izmantota pārmeklēšanas tehnika, lai meklētu problēmas precīzus vai tuvinātus risinājumus. Tas ir pārmeklēšanas algoritms, kurā pamatā ir Darvina evolūcijas teorija, ka dabā lielāka iespēja ir izdzīvot tādiem indivīdiem, kuri ir labāk piemēroti konkrētai videi (konkurence starp indivīdiem) (*Nikitenko*, 2006; *Zuters*, 2007). Ģenētiskos algoritmos tiek izmantotas metodes, kas balstītas uz nejaušībām un katras nākamās paaudzes indivīdi būs atšķirīgi no sākuma populācijas (*Takahaši*, 2004).

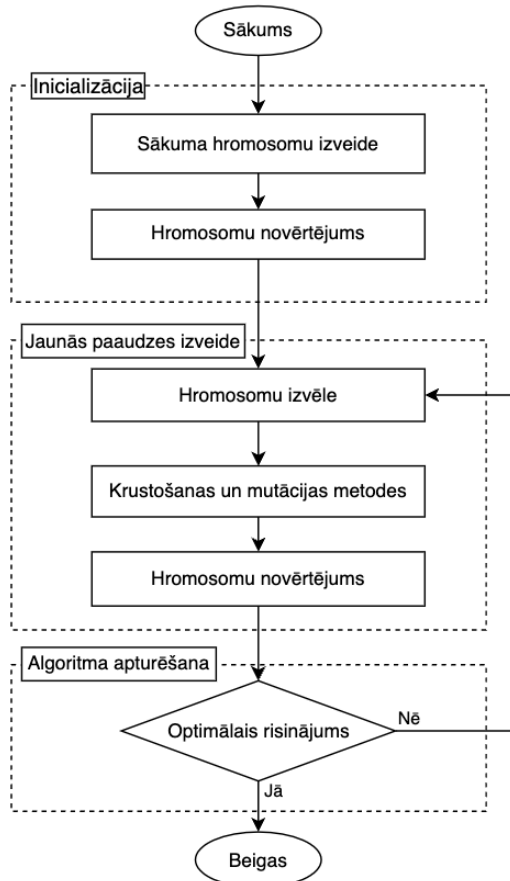
Promocijas darbā ģenētiskais algoritms tiek izmantots, lai ģenerētu vairākus mācību plānu variantus, no kuriem labākais risinājums tiek izvēlēts kā optimālais mācību plāns, lai iegūtu vislabākos izglītojamā rezultātus. Moduļu izvēles kombinācijas kompetenču apgūšanai tiek sauktas par hromosomām jeb indivīdiem. Katra ģenētiskā algoritma iterācija rada jaunu paaudzi, un labākās hromosomas piedalās nākamās paaudzes ģenerēšanā. Ģenerējot jaunās paaudzes hromosomas, tiek izmantotas iepriekšējās paaudzes hromosomas, lietojot krustošanas un mutācijas metodes (*Chen*, 2008; *Nikitenko*, 2006). Mutācija izmaina vienu vai vairākus gēnus hromosomā, bet krustošanā tiek iesaistītas vairākas hromosomas un kuru fragmenti veido jaunu indivīdu (*Chen*, 2008; *Zuters*, 2007).

Ģenētiskos algoritmus var aprakstīt ar trīs soļiem (*Takahaši*, 2004):

- Ģenerēt un novērtēt sākuma hromosomu (risinājuma) kopu  $P$ ;
- Radīt jaunas hromosomas kopai  $P_i$ , izmantojot iepriekšējās kopas  $P$  hromosomas;

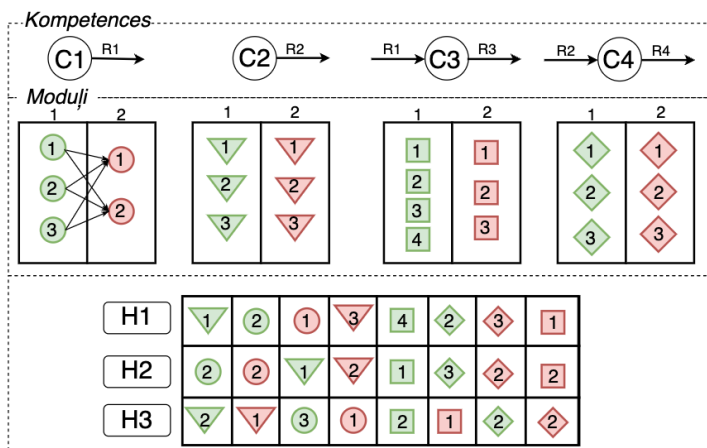
- Atkārtot jaunu hromosomu ģenerēšanu, ja beigu nosacījums vēl nav sasniegts.

Ģenerējot mācību plānu, izmantojot vairākus ievades parametrus (vienas tēmas moduļu skaitu, mācību moduļu apguves laiku), ģenētiskajā algoritmā tiek izmantota krustošanas un mutācijas metode. Ģenētiskā algoritma izpildes secība ir attēloti 3.11. attēlā.



3.11. att. Ģenētiskā algoritma izpildes secība.

Ģenētiskā algoritmā pirmais solis ir sākuma hromosomu izveide, kurā tiek ģenerētas  $n$  hromosomas. Katra hromosoma apraksta mācību plāna moduļus. Sākotnējo hromosomu definēšanai izmanto iespējamās moduļu secības kombinācijas mācību kursa apgūšanai, ievērojot definētās kursa prasības. Pieņemsim, hromosomu izveidei tiek izvēlēts minimālais moduļu skaits no katras kompetenču kopas, kas ir nepieciešams, lai apgūt kompetenci. 3.12. attēlā ir parādīts trīs hromosomu ģenerēšanas rezultāts. Mācību kurss nodrošina 4 kompetenču apgūšanu, kas ietver to apgūšanas prasības. Katrai kompetencei ir mācību moduļu kopa, kas ir sadalīta divās kategorijās un ietver vairākus alternatīvus moduļus.



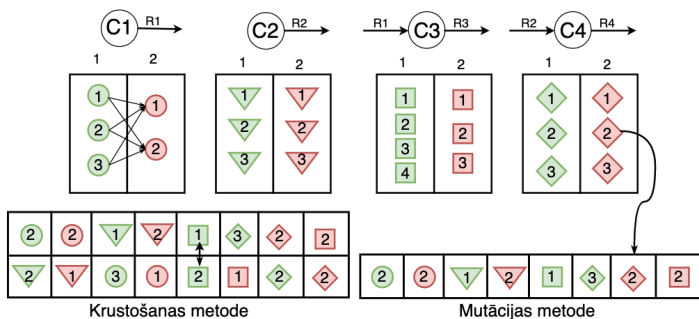
3.12.att. Hromosomu H1, H2, H3 izveide.

Hromosomu novērtējums izpilda divus uzdevumus:

- pārbauda vai mācību plāna visu moduļu apguves laiks nepārsniedz kursa definēto laiku;
- novērtē mācību plānu pēc prognozēta zināšanu līmeņa katrā kompetencē, t.i. nosaka minimālo un maksimālo prognozējamo zināšanu līmeni katrā kompetencē mācību kursa noslēgumā.

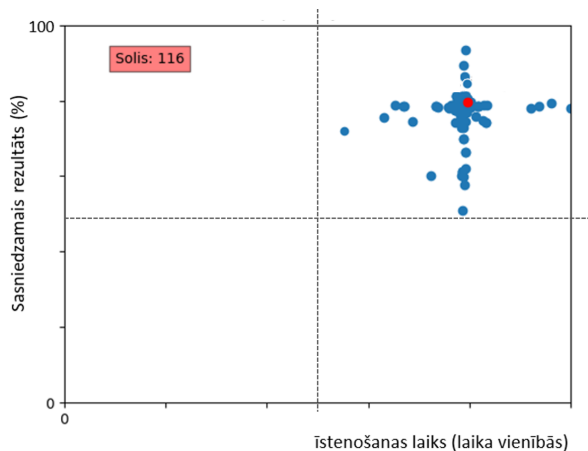
Hromosomu izvēle: tiek izvēlētas labākās divas hromosomas, kurām ir visaugstākie hromosomu novērtējumi.

Krustošanas un mutācijas metodes: krustošanas algoritms izmanto labākās hromosomas, veidojot jaunu populāciju katrā ģenerēšanas solī. Izmantojot šo metodi, tiek sajaukti divu iepriekšējās paaudzes labāko hromosomu gēni, kas ir savietojami savā starpā, lai izveidotu divas jaunas hromosomas. Mutācijas metode aizvieto vienu moduli ar citu moduli no datu kopas. Krustošanas un mutācijas metodes ir attēlotās 3.13. attēlā



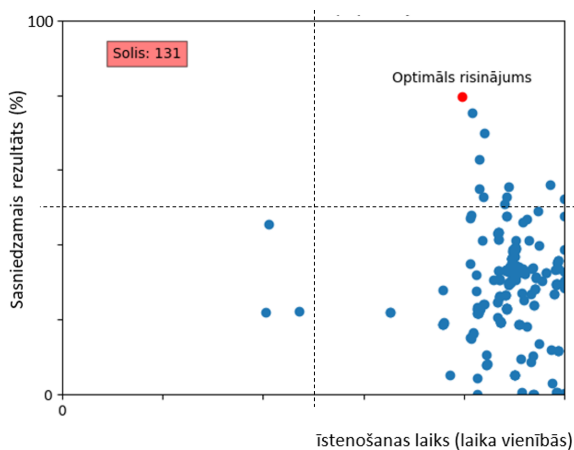
3.13.att. Krustošanas un mutācijas metodes.

Optimāls risinājums: optimālais risinājums tiek atrasts tad, kad tiek izpildīts noteikts iterāciju skaits un hromosomas atrodas definētās robežās (mācību plānā apguves laiks un sasniedzamais zināšanu līmenis atbilst kursā definētajām prasībām) (3.14. attēls).



3.14. att. Ģenerēto mācību plānu kopas izpildes laika un sasniežama rezultāta vizualizācija.

Veicot jauno hromosomu ģenerēšanu, tika konstatēts, ka gadījumos, kad vērtības atrodas tuvu optimālajam risinājumam, pie liela iterāciju skaita var gadīties situācija, ka ģenerēšanas procesā tiek iesaistītas hromosomas, kas nesatur optimāla risinājuma gēnus. Tādējādi, turpinot ģenētiska algoritma izpildi, liela hromosomu koncentrācija veidosies punktā, kas neatbilst sasniežama rezultāta prasībām (3.15. att.).



3.15. att. Hromosomu koncentrācijas novirze.

Algoritma darbības laikā var noteikt mazāko mācību procesa apgūšanai nepieciešamo moduļu skaitu, aizvietojo ar bāzes kompetences moduļus ar moduļiem no izvēles vai papildus kompetencēm. Bāzes kompetenču prioritātes noteikšanai to iekļaušanai mācību plānā, darbā tiek piedāvāts ieviest stiprus individuus (iekļaujot mutācijas procesā moduļus no bāzes kompetencēm), kas noteiks mācību plāna ģenerēšanas vadlīnijas.



### 3.4. Trešās nodaļas kopsavilkums

Trešajā nodaļā ir izstrādātas mācību plāna pārkonfigurēšanas metodes, kas ļauj palielināt plāna dzīves ilgumu, līdzsvarojošot izglītojamā zināšanu līmeni starp visām mācību plānā iekļautajām kompetencēm.

Nodaļa ir definēta mācību procesā iekļauto kompetenču klasifikācija, ir izstrādāts algoritms kompetenču iekļaušanai mācību plānā. Tas nodrošina sākotnējo bāzes kompetenču iekļaušanu mācību programmas obligātās daļas apgūšanai pilnā apmērā. Nodrošinot bāzes kompetenču iekļaušanu, mācību plāna ģenerēšanas algoritms izvēlas maksimāli iespējamo mācību kompetenču apgūšanas ilgumu, kas nepārsniedz kompetenču apguvei atvēlēto laiku. Nodaļā ir aprakstīts, ka gadījumā, ja izglītojamā kompetenču zināšanu līmenis samazinās zem programmā definētā sliekšņa, kompetenču atkārtotai apgūšanai ir nepieciešams izvēlēties mācību moduļu secību ar mazāku apgūšanas laiku, lai palielinātu izvēles kompetenču skaitu.

Izvēles kompetenču iekļaušanai ir piedāvāts algoritms, kas darbojas, saskaņā ar diviem scenārijiem:

- 1) tiek iekļauta no izglītojamā puses izvēlēta kompetence, kas nav saistīta ar citām mācību kursā iekļautajām kompetencēm,
- 2) tiek iekļauta ar mācību programmu saistīta kompetence, kas tiek atlasīta, pamatojoties uz izglītojamā zināšanu līmeni bāzes kompetencēs.

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 ir 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  $t_{max}$  ir lielāks par definēto robežvērtību.

Ir izstrādāti algoritmi, kas nosaka pieejamo moduļu atlasīto mācību plāna ģenerēšanai. Nodaļā ir aprakstīti moduļu un kompetenču izvēles un kārtības algoritmi, kas, nosaka mācību plāna izveidi.

Gadījumos, kad rodas situācija, kad reālā laikā nav iespējams saņemt atgriezenisko saiti, ir piedāvāts izmantot ģenētisko algoritmu mācību plāna etalonmodeļa ģenerēšanai, nosakot moduļu apgūšanas secību.

## 4. IZSTRĀDĀTO METOŽU UN MODEĻU EKSPERIMENTĀLA PĀRBAUDE

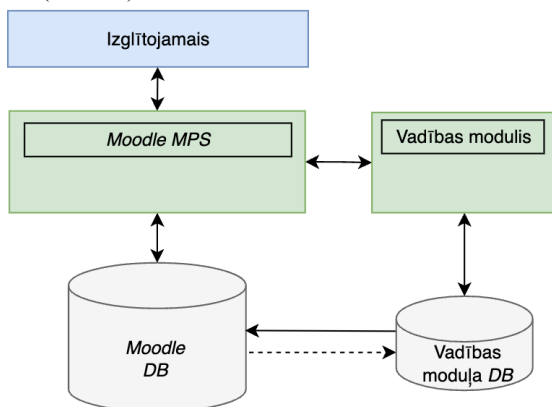
Ceturtajā nodaļā ir apskatīta mācību plāna ģenerēšanas modeļa un metožu eksperimentāla pārbaude, izmantojot eksperimentus reālajā mācību vidē:

- eksperimentāli pārbaudīts otrajā nodaļā izstrādātā adaptīva mācību plāna novērtēšanas modelis reālā mācību procesā;
- trešajā nodaļā piedāvātās adaptīva mācību plāna pārkonfigurēšanas metožu izmantošanu izglītojamā zināšanu līmeņa līdzsvarošanai.

Definētas eksperimenta laikā izstrādātās vadības sistēmas prasības un ierobežojumi, kā arī aprakstītas tās funkcionālās un nefunkcionālās prasības. Nodaļā ir aprakstīti trīs eksperimenti ar izstrādāto adaptīva mācību procesa vadības moduli, kurš nodrošina *Moodle* mācību platformas vadību.

### 4.1. Prasības adaptīvas mācību pārvaldības sistēmas vadības modulim

Ka jau bija minēts 1. nodaļā, mācību pārvaldības sistēmas noslodze ir atkarīga no izglītojamo un mācību moduļu skaita, kas vienlaikus tiek iesaistīti mācību procesā. Var uzskatīt, ka papildus uzdevuma (adaptīva mācību plāna ģenerēšana) ieviešana esošajā MPS samazinās sistēmas ātrdarbību, kas palielina laiku mācību moduļu izvēlei katram izglītojamam. 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. Sadaļā ir aprakstītas VM funkcionālas un nefunkcionālas prasības, kas tika izmantotas programmatūras izstrādes procesā.

Prasību analīze ir neatņemama katra programmatūras izstrādes procesa sastāvdaļa, kurā tiek veikta ar programmatūras izstrādes un ieviešanas procesu saistīto prasību noteikšana. Adaptīva

mācību plāna ģenerēšanas moduļa uzdevums ir vadīt Moodle mācību pārvaldības sistēmu, nodrošinot plāna pielāgošanu izglītojamā vajadzībām. Esošās platformas izvēle nosaka ierobežojumus tehnoloģiju izmantošanai, izstrādājot programmatūru.

VM izstrādei promocijas darbā ir definētās prasības, kas nosaka tehnoloģiju un procesu izvēli.

**Nefunkcionālās prasības** (NFP) - apraksta programmatūru kopumā, nosakot prasības, kas ir saistītas ar to iekšējo funkcionalitāti – drošība, savienojamība utt.:

#### *Vispārīgās prasības*

- NFP-01 Parametrizācijas izmantošana (obligāta)  
Ņemot vērā iespējamās izmaiņas gan ar mācību procesu saistītajos normatīvajos aktos, gan programmatūrā izmantotajos algoritmos, ir jāparedz to parametrizācijas izmantošana. Parametru izmaiņas ir jānodrošina programmatūras administratoram vai deleģētai personai, izmantojot to līdzekļus – mainot parametra vērtību vai vērtības, nevis izdarot izmaiņas programmatūras pirmkodā un uzstādot jaunu programmatūras versiju.
- NFP-02 Klasifikatoru izveide (obligāta)  
Jāļauj veidot jaunus klasifikatorus mācību moduļu aprakstiem, papildināt/mainīt klasifikatoru vērtības.

#### *Prasības sistēmas drošībai un uzraudzībai*

- NFP-03 Auditācijas pierakstu veikšana (obligāta)  
Programmatūrai jānodrošina auditācijas pierakstu veikšana, kuros tiek reģistrēti dati par notikumiem. Auditācijas funkcijai jābūt konfigurējamai, lai varētu norādīt, par kādām darbībām jāveic auditācijas pieraksti un vajadzības gadījumā būtu iespējams pārtraukt, vai būtiski samazināt auditācijas pierakstu veikšanu.
- NFP-04 Datu rezerves kopiju veidošana (obligāta)  
Programmatūrai jānodrošina iespēja izveidot datu rezerves kopijas, tās glabāt, arhivēt, kā arī izmantot datu atgūšanai un atjaunošanai.
- NFP-05 Programmatūras aizsardzība no ārējiem apdraudējumiem (obligāta)  
Jāiekļauj programmatūras aizsardzības mehānismi, lai to aizsargātu no ārējiem apdraudējumiem.

#### *Prasības attiecībā uz datu apmaiņu ar citām informācijas sistēmām*

- NFP-06 Datu apmaiņas protokols (obligāts)  
Datu apmaiņu ar MPS Moodle ir jārealizē, izmantojot SOAP /REST sadarbības tehnoloģiju (visur, kur tas ir iespējams, ieteicams izmantot tīmekļa pakalpes).

#### *Savienojamība*

- NFP-05 Savienojamība (obligāta)  
Programmatūrai jāspēj uzturēt šādas savienojuma/datu pārraides iespējas:  
Datnes/SFTP protokols;  
Datu bāzes līmenī (MySQL vai analogs).

**Funkcionālās prasības** (FP) - prasības, kas apraksta lietotāja definētus programmatūras uzdevumus vai procesus, kas tiks izmantoti to darbības laikā:

#### *Autentifikācija un autorizācija*

- FP-01 Autentifikācija (obligāta)

Programmatūrai jānodrošina autentifikācija, izmantojot sistēmas administratora izveidotu lietotāja vārdu un paroli.

- FP-02 Lietotāja profils (obligāts)

Programmatūrai jānodrošina lietotājam viens profils neatkarīgi no lomas.

#### *Programmatūras satura pārvaldība*

- FP-03 Programmatūras satura pārvaldība (obligāta)

Programmatūrai jānodrošina mācību satura pārvaldības iespēja. Ir jāņem vērā, ka saturs tiek atrādīts tikai reģistrētiem lietotājiem.

- FP-04 Satura pārvaldība (obligāta)

Programmatūrai jānodrošina satura elementu ievietošana, rediģēšana un dzēšana.

- FP-05 Programmatūras satura ievade (obligāta)

Programmatūrai jānodrošina, ka satura ievadei ir jāizmanto WYSIWYG metode.

#### *Mācību moduļu pārvaldība*

- FP-06 Mācību moduļu meklēšana (obligāta)

Programmatūrai jānodrošina mācību moduļu meklēšana pēc nosaukuma, autora, mācību kursa. Meklēšanas parametrus savā starpā jāspēj kombinēt.

- FP-07 Mācību moduļu ierakstu pārskats (obligāts)

Programmatūrā esošo mācību moduļu attēlošana saraksta formātā.

- FP-08 Mācību moduļu pārvaldība (vēlama)

Programmatūrai jānodrošina mācību moduļu pievienošana, rediģēšana un dzēšana, iekļaujot tekstu, saites, tabulas, attēlus u. c.

#### *Mācību plāna pārvaldība*

- FP-09 Mācību plāna ierakstu pārskats (obligāts)

Programmatūrai jānodrošina aktīvo mācību plāna visi ieraksti, kas atbilst meklēšanas kritērijiem.

- FP-10 Mācību plāna pārvaldība (obligāta)

Ir jānodrošina izglītojamam piesaistīto mācību plāna pārvaldība, iekļaujot informāciju par apgūto mācību kopu. Aktuāla mācību plāna modificēšanas iespējas. Programmatūrai jāļauj pievienot/aizvietot mācību plānā iekļautos moduļus. Procesa izpildes laikā ir jānosaka prognozētais mācību kursa beigās sasniegtais zināšanu līmenis.

- FP-11 Izglītojamo mācīšanas procesa pārvaldība (obligāta)

Ir jāattēlo izglītojamā sasniegtais rezultāts, izmantojot *Moodle* datu bāzē esošos datus.

## **4.2. Adaptīvas mācību pārvaldības sistēmas fiziskās struktūras tehnisko risinājumu pārskats**

Lai veiktu eksperimentus ir izvēlēta programmatūra ar brīvu pieeju programmatūras kodam un datubāzes struktūrai, kas ļauj veikt promocijas darbā izstrādātu modeļu aprobāciju, izmantojot detalizētu parametru adaptāciju katram sistēmas darbības ciklam.

Viena no Latvijā populārākajām izmantotajām mācību pārvaldības sistēmām ir *Moodle* sistēma, kas nodrošina mācību kursu un mācību procesa pārvaldību, izmantojot stingri definētu mācību plāna struktūru. Sistēmas administrators nodrošina mācību kursa sagatavošanu,

pievienojot sistēmā iekļautos moduļus. Analizējot *Moodle*, secinājumi ir šādi:

- sistēma ļauj pievienot neierobežotu mācību moduļu skaitu katrā mācību kursā;
- sistēma ļauj definēt katra moduļa attēlošanas nosacījumus;
- sistēma ļauj pievienot moduļu aprakstus, izmantojot tagus, kompetences un apraksta formas;
- sistēma ļauj pielāgot mācību moduļa attēlošanas secību katram lietotājam, izmantojot piekļuves ierobežošanas prasības kursa struktūrā;
- sistēma ļauj uzskaitīt mācību moduļa apgūšanai patērēto laiku;
- sistēma nodrošina atvērto piekļuvi datubāzei.

#### 4.2.1. Datubāzes struktūra

Katrs mācību modulis, kas ir pievienots mācību kursam, tiek saglabāts serverī, izmantojot sadalīto datu uzglabāšanas modeli. Relāciju tabulas apraksta mācību moduļa parametrus, kas norāda uz tā piederību noteiktajam mācību kursam sistēmas ietvaros. Mācību moduļa informācija tiek glabāta atsevišķā indeksētajā tabulā, veidojot atsevišķu ierakstu katram mācību pārvaldības sistēmā ievietotajam modulim (4.2. att.).

Showing rows 0 - 24 (1343 total. Query took 0.0020 seconds) [id: 1347... - 1323...]

```
SELECT * FROM 'mdl_course_modules' ORDER BY 'mdl_course_modules'.'id' DESC
```

Number of rows: 25 Filter rows: Search this table Sort by key: None

	id	course	module	instance	section	idnumber	added	score	indent	visible	visible1	visible0	groupmode	groupingid	completion	completiongradeitemnumber
<input type="checkbox"/>	1347	3	16	181	14	1664992251	0	0	1	1	1	0	0	1	NULL	
<input type="checkbox"/>	1346	5	7	72	129	1607196744	0	0	1	1	1	0	0	1	NULL	
<input type="checkbox"/>	1345	5	13	316	129	1612270081	0	0	1	1	1	0	0	0	NULL	
<input type="checkbox"/>	1344	5	1	87	129	1612271896	0	0	1	1	1	0	0	0	NULL	
<input type="checkbox"/>	1343	5	13	315	94	1612270017	0	0	1	1	1	0	0	0	NULL	
<input type="checkbox"/>	1342	5	13	314	129	1612270060	0	0	1	1	1	0	0	0	NULL	
<input type="checkbox"/>	1341	8	1	86	128	1655213112	0	0	1	1	1	0	0	1	NULL	

4.2. att. Mācību moduļa tehniskās informācijas glabāšanas tabulas piemērs.

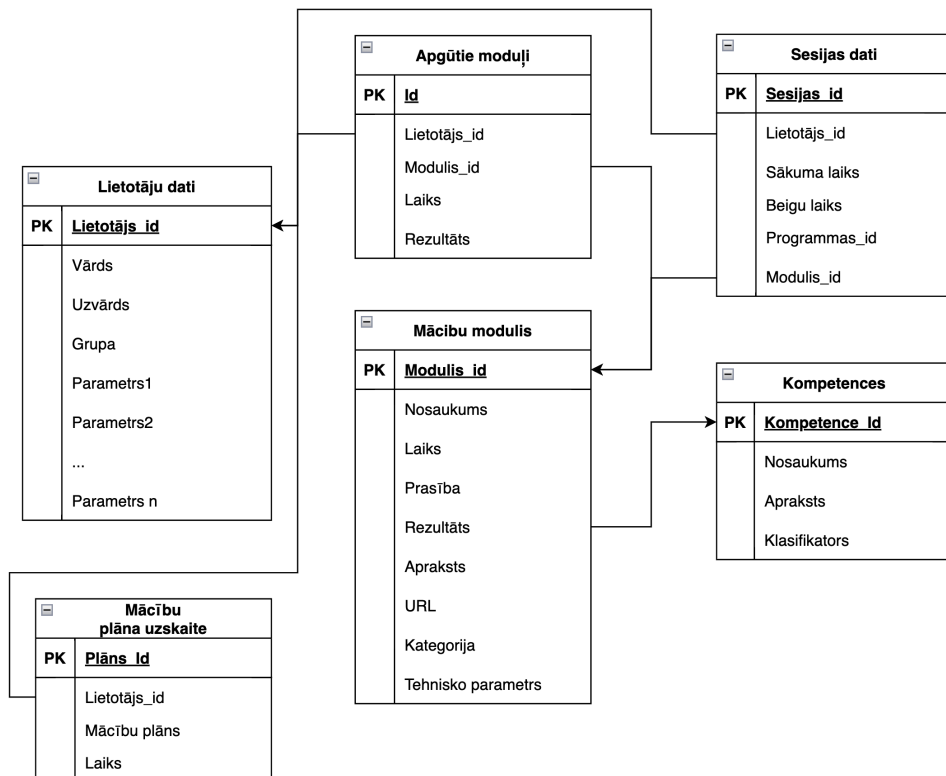
Informācija par mācību moduļa izpildi tiek ierakstīta datubāzē, izmantojot divus kritērijus: apskatīts vai izpildīts. Moduļa izpildes nosacījumus definē kursa administrators, balstoties uz saņemto atgriezenisko informāciju (apskatīts video ieraksts, izpildīts zināšanu pārbaudes tests, izlasīts teksts, ņemot vērā teksta lasīšanas laiku, iesniegts uzdevums).

Izmantojot *Moodle* datubāzes struktūru, ir iespēja pārvaldīt moduļu attēlošanas secību mācību kursa īstenošanas laikā. *Moodle* konfigurācija ļauj ierobežot moduļa attēlošanas iespējas, ņemot vērā katra uzdevuma izpildes nosacījumus. Kad izglītojamais izpilda prasības, kas ir nepieciešamas moduļa attēlošanai, sistēma aktivizē piekļuvi modulim, saglabājot piekļuvi arī iepriekš apgūtajiem moduļiem. Izglītojamā piekļuve modulim tiek noteikta, pamatojoties uz tabulas *modules* kolonnas *visible* datiem, un tiek atjaunota, katru reizi, kad lapas saturs tiek atjaunots pārlūkprogrammā.

Izglītojamā mācību procesa VM ieviešanai ir izstrādāta atsevišķa datubāze, kas samazina informācijas iegūšanas laiku, kas tiek izmantots datu atlasei mācību moduļa īstenošanas laikā (4.3. att.).

Esošajās atvērta koda AMPS lietotāja tabula satur informāciju par visām lietotāju grupām

(pasniedzēji, izglītojamie, administratori). VM izstrādei tiek piedāvāts izmantot atsevišķu tabulu “Personas”, kas ietver informāciju par lietotāja parametriem, kuri ietekmē mācību procesa īstenošanu. Tabula satur lietotāju ID numuru to identificēšanai un ietver informāciju, kas tiek izmantota, lēmuma pieņemšanas brīdī izvēloties izglītojamā zināšanu līmenim atbilstošo mācību plānu.



4.3. att. Mācību plāna ģenerēšanas moduļa datubāzes struktūra.

**Mācību moduļu tabula** – tabula, kas satur informāciju par pieejamo moduļu kopu no Moodle sistēmas. Moodle sistēmas datubāze ietver sevī visu nepieciešamo informāciju par katru moduli, ieskaitot moduļa apraksta daļu, kā arī moduļa izpildes prasības. Moodle sistēmas uzbūve ļauj izmantot tabulas arī ārējiem procesiem, bet mācību plāna ģenerēšanas metode ir saistīta ar papildus datubāzes noslodzi, kas samazina sistēmas ātrdarbību, ieviešot datubāzes papildus apstrādes uzdevumus. AMPS slodzes samazinājumam promocijas darbā tiek ieviesta moduļu tabulu kopija, kas atrodas atsevišķā, ar pamatsistēmu nesaistītā datubāzē, nodrošinot moduļu sinhronizāciju to veidošanas vai labošanas gadījumos.

**Mācību plānu uzskaites** – tabula, kas satur informāciju par tiem mācību plāniem, kas bija piesaistīti katram izglītojamam. Tabulā tiek saglabāta atlikušā mācību plāna izpildes secība pēc katra moduļa izpildes. Katrā mācību plāna maiņas laikā tabulā tiek ievietots laika zīmogs, kas norāda uz jauna ieraksta pievienošanu un mācību plāna maiņas pamatojums.

### 4.2.2. *Servera tehniskie parametri*

Kā jau tika minēts iepriekš, *Moodle* ir atvērtā koda programmatūra, kas darbojas uz tīmekļa servera bāzes. VM programmas kods ir rakstīts, izmantojot PHP programmēšanas valodu. Sistēmas darbībai ir nepieciešams datubāzes serveris. Pamata *Moodle* sistēmas darbībai ir nepieciešams nodrošināt ne mazāk kā 5 GB vietnes gan programmatūras koda, gan bāzes konfigurācijas datu uzglabāšanai. Programmatūras tehniskajā dokumentācijā ir norādīts, ka minimālās *Moodle* prasības ir 1 GHz procesors un 512 RAM operatīvā atmiņa. Sistēmai darbojoties, operatīvās atmiņas nepieciešamais apjoms ir saistīts ar aktīvo lietotāju skaitu sistēmā, un mācību projektos ar aktīvo lietotāju skaitu no 300 līdz 500 nepieciešamais operatīvās atmiņas apjoms ir vismaz 8 GB.

Promocijas darba eksperimentu veikšanai ir izmantots VM, kas nodrošina *Moodle* mācību pārvaldības sistēmas un mācību plāna ģenerēšanas moduļa darbību. *Moodle* servera uzbūve ir veikta uz *Ubuntu* 18.04 servera bāzes, izmantojot *Apache* un *MySQL* serverus. Servera tehniskie parametri ir šādi: CPU - i7-10700K, 3.8 GHz, RAM – 16 GB DDR4, HDD – 500 GB ar ātrumu 7200 rpm. Mācību plāna ģenerēšanas moduļa serveris izmanto *Ubuntu* 18.04 servera programmatūru un *Apache* un *MySQL* serverus. Servera tehniskie parametri ir šādi: CPU - i7-10700K, 3.8 GHz, RAM – 8 GB DDR4, HDD – 128 GB ar ātrumu 7200 rpm. Lai mazinātu atkarību no interneta pieslēguma ātruma, abi serveri darbojas vienā apakštīklā, izmantojot 100 Mbps slēgumu. Neskatoties uz to, ka *Moodle* ļauj izmantot ārējās datubāzes sistēmas informācijas uzglabāšanai, promocijas darbā eksperimentālās daļas realizācijas laikā tika pieņemts neievieš papildu serveri mācību pārvaldības sistēmas datubāzes vadībai, bet izmantot noklusēto *Moodle* servera konfigurāciju, izvietojot datubāzes serveri vienā serverī ar sistēmu (localhost). Šo izvēli pamato faktors, ka Latvijas mācību iestādēs ar izglītojamo skaitu līdz 1000 audzēkņiem, tiek izmantots risinājums, kur datubāzes serveris un mācību pārvaldības sistēmas serveris fiziski ir apvienoti vienā vietnē.

Mācību plāna ģenerēšanas moduļa pirmkods ir rakstīts, izmantojot divas programmēšanas valodas. Servisa procesu izpildei starpsistēmu komunikācijas nodrošināšanai tiek izmantota PHP programmēšanas valoda, izstrādājot informācijas apmaiņas un sinhronizācijas skriptus, un sistēmas modeļu un algoritmu vadībai tiek izmantota *Python* programmēšanas valoda, kas nodrošina informācijas apstrādi pēc pieprasījuma (JSON).

Nodrošinot fizisko aprobāciju, ir izvēlētas platformas ([www.das.lv](http://www.das.lv), [www.macam.lv](http://www.macam.lv), [www.dpc.lv](http://www.dpc.lv)), kas nodrošina reālu mācību procesu tiešsaistē ar aktīvo lietotāju skaitu no 500 līdz 2000. Izvēlēto mācību pārvaldības sistēmu uzdevums ir nodrošināt iepriekš izstrādātā mācību kursa realizāciju. Sistēma neveic citas ar mācību procesu nesaistītas darbības.

### 4.3. Mācību plāna pārkonfigurēšanas modeļu un algoritmu eksperimentāla aprobācija

Mācību plāna pārkonfigurēšanas modeļu un algoritmu eksperimentālai aprobācijai promocijas darbā ir realizēti trīs eksperimenti reālā mācību vidē.

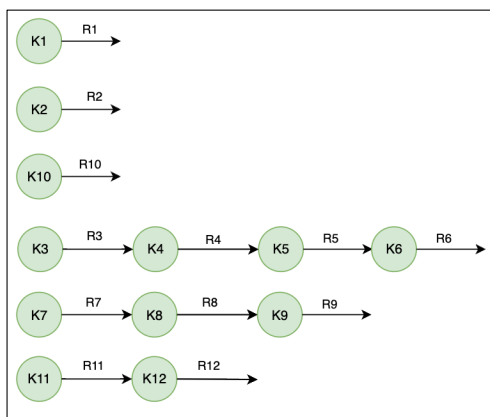
1. Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modeļa aprobācijai ar statisko mācību plānu.
2. Adaptīva mācību plāna ģenerēšanas algoritma aprobācijai mācību kursā ar determinētu

mācību procesa īstenošanas laiku.

3. Adaptīva mācību plāna ģenerēšanas algoritma aprobācija zināšanu līmeņu līdzsvarošanai.

#### **4.3.1. Mācību plāna dzīves ilguma novērtēšanas modeļa aprobācija ar statistisko 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 (4.4. att). 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.



4.4.att. Mācību kursa “Informācijas digitalizācijas un publicēšanas metodes” 12 kompetenču mijiedarbība.

Mācību plāna pielāgošanu izglītojamā vajadzībām var nodrošināt pedagogs, manuāli veicot to izmaiņas. Eksperimentu laikā visu mācību procesa pārraudzību un vadību nodrošināja pedagogs.

#### ***Eksperimenta 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 uz izglītojamā kompetenču zināšanu līmeņa noteikšanas modeli.
3. Novērtēt mācību plāna dzīves ilguma pieaugumu, manuāli mainot moduļu pasniegšanas secību, ņemot vērā zināšanu aizmirstības apjoma noteikšanas modeli.



## ***Eksperimentā apskatāmais objekts***

Apskatāmais objekts – Moodle mācību pārvaldības sistēmā izstrādāts mācību kurss “Informācijas digitalizācijas un publicēšanas metodes”, kas sastāv no 12 kompetencēm. Sistēma izmanto adaptīvu saturu reprezentācijas metodi mācību vielas pasniegšanai. Katra moduļa aktivizācijas nosacījumi ir saistīti ar apgūto moduļu skaitu un ir aprakstīti mācību kursa struktūrā. Katra moduļa izpildes laiks ir determinēts. Mācību kursa apguves laiks nevar pārsniegt 56 mācību stundas. Balstoties uz projekta prasībām, izglītojamā zināšanu līmenis katrā mācību kursa apgūtajā kompetencē ir jābūt ne mazāk kā 50 procenti. Mācību procesā bija iesaistītas 228 vienas mērķauditorijas personas ar vienādu zināšanu līmeni, kas tika noteikts izmantojot mācību kursa ieejas zināšanu pārbaudes moduli.

Eksperiments tika veikts trīs posmos:

- pirmais posms – 2020. gada septembris–2021. gada janvāris. MPS izmantoja iepriekš definētu moduļu apguves secību, apgūstot mācību kompetences lineārā secībā;
- otrais posms – 2021. gada jūnijs–2021. gada decembris. Mācību plāna ģenerēšana, izmantojot izglītojamā kompetenču zināšanu līmeņu noteikšanu;
- trešais posms – 2022. gada februāris–2022. gada jūnijs. Mācību moduļu pasniegšanas secība maiņa, ņemot vērā izglītojamā zināšanu aizmirstības apjoma noteikšanas modeli.

## ***Eksperimenta ieejas dati***

Eksperiments notika, izmantojot vienu mācību kursu trīs gadu laikā. Eksperimenta laikā katram uzdevumam bija izvēlētas pēc vecuma un zināšanu līmeņa vienādas mērķauditorijas grupas.

Lai eksperimentu varētu uzskatīt par notikušu, tika pārbaudīts izglītojamā zināšanu līmenis, uzsākot mācību procesu, izvērtējot tā zināšanu līmeni katrā mācību kursā apskatītajā kompetencē. Izglītojamais bija motivēts absolvēt mācību programmu un saņemt mācību kursa apgūšanas sertifikātu.

Katrā eksperimenta posmā piedalījās 76 izglītojamie. Mācību process tika īstenots 14 nodarbībās, nodrošinot mācības reizi nedēļā 4 akadēmisko stundu apmērā. Mācību nodarbību intervāls tika izvēlēts ar mērķi palielināt mācību zināšanu aizmirstības apjomu, pagarinot mācību programmas apgūšanas laiku.

## ***Mācību plāna dzīves ilguma etalonvērtības noteikšana***

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

Eksperimentu laikā izglītojamais nevar atkārtoti apgūt mācību vielu. Eksperimentu laikā mērķauditorijas grupai tika noteikts minimālais zināšanu līmenis  $K[c_i(min)]=50\%$ . Tiek uzskatīts, 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  $\delta_e$ , 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  $\delta_p$ , 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.

Eksperimenta 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  $\delta_r$ , 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			
	Statiskais mācību plāns				Mācību plāna ģenerēšana, izmantojot zināšanu līmenī balstītu kompetenču noteikšanas modeli				Mācību plāna ģenerēšana, izmantojot zināšanu aizmiršanas apjoma noteikšanas modeli			
	$t'$	$\delta_e$	$\delta_p$	$\delta_r$	$t'$	$\delta_e$	$\delta_p$	$\delta_r$	$t'$	$\delta_e$	$\delta_p$	$\delta_r$
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											

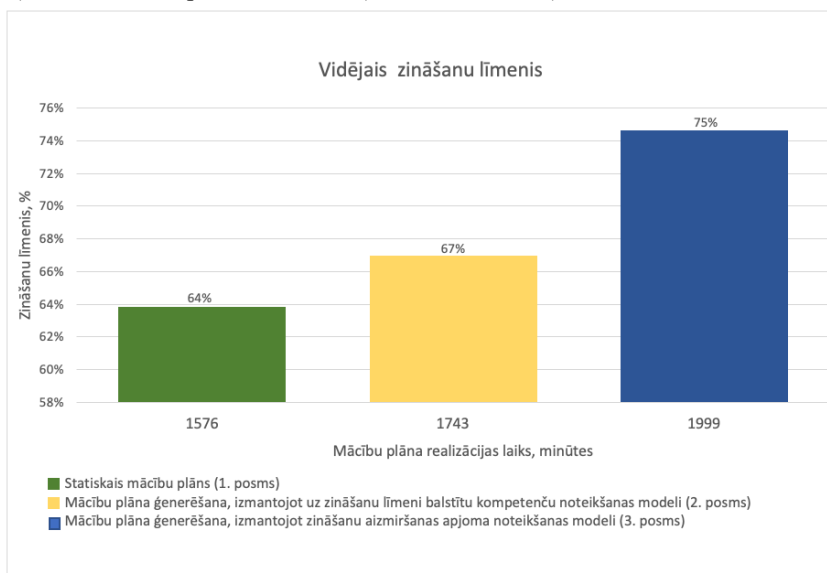
Analizējot eksperimenta trīs posmus, koeficients  $\delta_e$  vērtība ir negatīva, kas liecina par to, ka pedagoga vadītajā mācību procesā izglītojamais apgūst mācību kursā iekļauto informāciju, nepārsniedzot atvēlēto laiku. Tādējādi var secināt, ka katrā eksperimenta posmā eksistē laiks ( $t_s - t'$ ), kas var tikt izmantots atkārtotai mācību kompetences apgūšanai sasniedzamo rezultātu uzlabošanai. 3. posmā koeficients  $\delta_e$  (- 6 %), salīdzinot ar 1. posma eksperimenta  $\delta_e$  (-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.

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

Izmantojot iegūtās koeficienta  $\delta_p$  vērtības, var secināt, ka mācību plāna pielāgošana izglītojamā vajadzībām prasa izdevumus, kas ir saistīti ar izglītojamo skaitu mācību grupā. Pirmā eksperimenta posmā pedagogs izveido statisko mācību plānu visai grupai, bet 2. un 3. posmā, pieaugot ar mācību plāna izpildes uzraudzību saistīto uzdevumu skaitam katram izglītojamam, pieaug mācību procesa pedagoga izmaksas.

Eksperimenta laikā iegūtie rezultāti liecina, ka izglītojamo sasniedzamie rezultāti (koeficienta  $\bar{\delta}_r$  vērtība) ir atkarīgi no mācību kursa ilguma un mācību plāna ģenerēšanas metodes. Gadījumos, kad pedagogs eksperimenta 2. posmā ( $\bar{\delta}_r$  vērtība ir 67%) un 3. posmā ( $\bar{\delta}_r$  vērtība ir 75%) pielāgoja mācību plānu katram izglītojamam, zināšanu līmenis ir pieaudzis, (4.5. att.) salīdzinot ar 1. posma rezultātu ( $\bar{\delta}_r$  vērtība ir 64%).



4.5. att. Vidējais zināšanu līmenis trīs eksperimentu posmos.

Lai noteiktu, kurš no salīdzināmajiem eksperimenta posmiem ir efektīvāks, tika veikta iegūto faktoru padziļināta izpēte. Pirmajā iterācijā tika pārbaudīti eksperimenta 1. posmā un 3. posmā iegūtie rezultāti. Izmantojot aprakstošo statistiku, tika iegūti faktorus raksturojošie dati (skat. 1. pielikumu). 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.

Faktoram ST vidēja vērtība  $\bar{x}=64,1579$ , minimālā vērtība ir 52 un maksimālā vērtība ir 78, amplitūda (starpība starp lielāko un mazāko vērtību) ir 26, vērtējumu izkliede ir 67,788, mediāna ir vienāda ar 64. Faktoram AD2 vidēja vērtība  $\bar{x}=74.9211$ , minimālā vērtība ir 68 un maksimālā vērtība ir 88, amplitūda (starpība starp lielāko un mazāko vērtību) ir 20, vērtējumu izkliede 17.914, mediāna ir vienāda ar 75.

Lai noteiktu, kuru metodi ir jāizmanto datu apstrādei, tika pārbaudīta datu sadalījuma atbilstība normālajam sadalījumam. Šim nolūkam tika izmantots Šapiro-Vilksa (Shapiro-Wilk) tests ar novērojumu skaitu  $n=152$ . Datu sadalījums atbilst normālajam sadalījumam, ja  $p \geq 0.05$  (4.2. tabulā apzīmēts ar *Sig.*). Pamatojoties uz testa laikā iegūtajiem rezultātiem (4.2.tabula) var secināt, ka datu sadalījuma likmes nav simetriskas.

4.2. tabula

Datu normālajam sadalījumam atbilstības testa rezultāti

veids	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.	
rezultāts	ST	,097	76	,075	,939	76	,001
	AD2	,086	76	,200*	,967	76	,048

Divu neatkarīgu izlašu salīdzināšanai pēc viena parametra tika izmantots Manna-Vitnija U tests (*Mann-Whitney U test*) (skat. 1. pielikumu). Ar šo metodi tika pārbaudīts, vai grupējoša pazīme ietekmē pētāmās vērtības, kas tiek noteikts pamatojoties uz  $p$  vērtību. Ja  $p$  vērtība ir mazāka par 0.05, tas nozīmē, ka izlašu vērtības būtiski atšķiras. 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. Izmantojot aprakstošo statistiku, tika iegūti faktorus raksturojošie dati (skat. 2. pielikumu). Datu izpētei tika definēts faktors adaptīvs faktors (AD1), kas apraksta iegūto zināšanu līmeni noslēguma pārbaudē, veicot eksperimentu ar ģenerēto mācību plānu, izmantojot zināšanu līmenī balstītu kompetenču noteikšanas modeli.

Faktoram AD1 vidēja vērtība  $\bar{x}=66.6974$ , minimālā vērtība ir 57 un maksimālā vērtība ir 78, amplitūda (starpība starp lielāko un mazāko vērtību) ir 21, vērtējumu izkliede 34.961, mediāna ir vienāda ar 65.

Lai noteiktu, kādu metodi ir jāizmanto datu apstrādei, tika pārbaudīta datu sadalījuma atbilstība normālajam sadalījumam. Šim nolūkam tika izmantoti Kolmogorova-Smirnova un Šapiro-Vilksa (Shapiro-Wilk) testi ar novērojumu skaitu  $n=152$ . Datu sadalījums atbilst normālajam sadalījumam, ja  $p \geq 0.05$  (4.3. tabulā apzīmēts ar *Sig.*). Ņemot vērā testa laikā iegūtos rezultātus (4.3.tabula) var secināt, ka datu sadalījuma likmes nav simetriskas.

Datu normālajam sadalījumam atbilstības testa rezultāti

rezultāts	veids	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
	ST	,097	76	,075	,939	76	,001
	AD1	,139	76	<,001	,927	76	<,001

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

U testa rezultāti parādīja (skat. 2. pielikumu), 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 statistisko 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 automatiskajā režīmā.
2. Izmantojot zināšanu līmenī 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 ( $\delta_r$  virs 60%).

#### ***4.3.2. 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 ir sadalītas astoņās nodarbībās. Kopējais mācību procesa īstenošanas laiks ir 40 stundas.

### ***Eksperimenta mērķis***

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

## ***Eksperimentā apskatāmais objekts***

Apskatāmais objekts – Moodle MPS izstrādāts mācību kurss, kas nodrošina transporta līdzekļa vadītāju apmācību tiešsaistes režīmā ([www.macam.lv](http://www.macam.lv)). Mācību kursā nepieciešams apgūt 7 kompetences 40 stundu laikā, katrai nodarbībai atvēlot 5 stundas. Mācību procesam atvēlētais laiks ir determinēts. Sistēma mācību vielas pasniegšanai izmanto adaptīvo satura reprezentācijas metodi. Katra moduļa aktivizācijas nosacījumi ir aprakstīti mācību kursa struktūrā. Katra moduļa izpildes laiks ir determinēts. Mācību kurss tiek uzskatīts par pabeigtu, kad izglītojamais ir izpildījis zināšanu pārbaudes testu, kas ietver sevī ar visām kompetencēm saistītus jautājumus.

Eksperiments tika veikts trīs posmos:

- Pirmais posms – 2022. gada janvāris–2022. gada marts. Tika veikta etalonmodeļa noteikšana. MPS darbojās, izmantojot definētu mācību plānu, kas nodrošināja moduļu kopas iekļaušanu reālā laikā bez iespējām mainīt moduļu secību.
- Otrais posms – 2022. gada marts–2022. gada jūnijs. Tika pārbaudīta kompetenču kārtēšanas algoritma ietekme uz sasniedzamo rezultātu kvalitāti visās 7 kompetencēs.
- Trešais posms – 2022. gada jūnijs–2022. gada augusts. Tika pārbaudīts moduļu kārtēšanas algoritms mācību plāna izstrādei ar determinētu apmācības laiku.

## ***Eksperimenta ieejas dati***

Eksperiments notika, izmantojot vienu mācību kursu trīs eksperimenta posmos. Mācību kursa struktūra un mācību moduļu saturs eksperimenta laikā netika mainīts. Mācību kursā iekļautas kompetences nav saistītas savā starpā. Mācību plāna maiņa notika saskaņā ar izvēlēto eksperimenta uzdevumu. Kompetenču zināšanu līmenis tika vērtēts ar zināšanu pārbaudes testu kopu. Noslēguma eksāmenā tika pārbaudīts izglītojamā zināšanu līmenis katrā kompetencē. Eksperiments notika, izmantojot vienotu mācību vielas pasniegšanas metodiku un mācību procesa īstenošanas grafiku. Līdz ar to var uzskatīt, ka ārējie faktori neietekmēja mācību vielas apgūšanu.

AMPS bija jāizpilda divi uzdevumi:

- jānodrošina mācību procesa aktivitātes ne mazāk kā 40 akadēmiskajās stundās;
- jānodrošina iegūto zināšanu līmeņa līdzsvarošanu starp visām kompetencēm.

Katrā eksperimenta posmā piedalījās 9 izglītojamie, īstenojot mācību procesu 40 mācību stundās. AMPS bija integrēti 147 moduļi obligāto savā starpā neatkarīgo 7 kompetenču apgūšanai un 82 moduļi, kas sniedz papildus informāciju par apskatīto mācību vielu. Kopējais visu mācību moduļu apgūšanai nepieciešamais stundu skaits bija 60 stundas: 32 stundas - bāzes kompetenču saistītie materiāli, 28 stundas – papildu mācību materiāli, kas sniedz padziļinātas zināšanas mācību kursā iekļautajās kompetencēs. Izglītojamo rezultāti tika izmantoti apkopojumam, kur mācību kursa apgūšanas laiks ir intervālā no 6 līdz 8 nedēļām, kas sakrīt ar ieteicamo mācību plāna ilgumu. Ir definēts, ka kompetence tiek uzskatīta par apgūto, ja izglītojamais ir ieguvis vismaz 45% noslēguma pārbaudē.

## Mācību plāna izpildes apjoma etalona vērtības noteikšana

Eksperimentā 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  $\delta_v$ , kas atspoguļo iegūto zināšanu līmeņa attiecību procentos katrai mācību kursā iekļautajai kompetencei pret etalonmodeli:

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

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

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

Eksperimenta laikā bāzes kompetenču daudzums netika mainīts. Mācību plāna ģenerēšanas algoritms izmantoja etalonmodeļa noteikto mācību moduļu skaitu, kas ir nepieciešams mācību kursa apguvei. Eksperimenta rezultāti apkopoti 4.4. tabulā.

4.4. tabula

Eksperimenta rezultātu apkopojums

Kompetence	Minimālais mācību stundu apjoms	Mācību moduļu skaits	Eksperimenta 1. posms			Eksperimenta 2. posms			Eksperimenta 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	$\delta_v$	Kompetenču apgūšanas secība	Papildu mācību moduļu skaits	$\delta_v$
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 vajadzīgs 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.

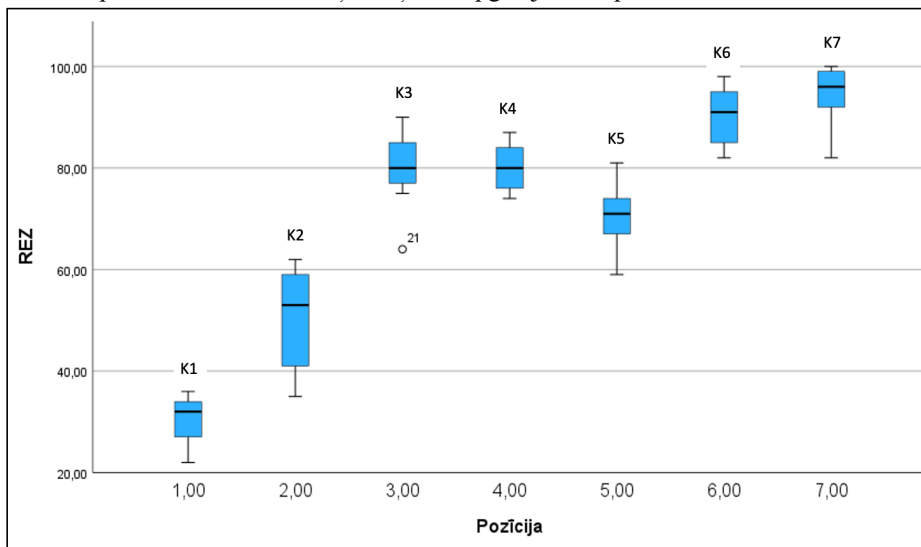
Eksperimenta 1. posmā, izmantojot pedagoga izstrādāto mācību plānu, secīgi tika apgūtas visas mācību kursa kompetences, izmantojot obligātus moduļus, un piecām kompetencēm (K3, K4, K5, K6, K7) palielināts to apgūšanas laiks, pievienojot papildu mācību moduļus. Tādējādi, pievienojot jaunus moduļus mācību 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, kuras 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  $\delta_v$  vērtības, var redzēt, ka kompetenču kārtēšanas 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%).

Ekspierimenta 3. posmā, izmantojot mācību moduļu kārtēšanas 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 kārtēšanas algoritms, ļauj līdzsvarot iegūto zināšanu līmeņu rezultātus starp visām mācību kursa iekļautajām kompetencēm (K1, K2 un K5 iegūtais zināšanu līmenis tika paaugstināts).

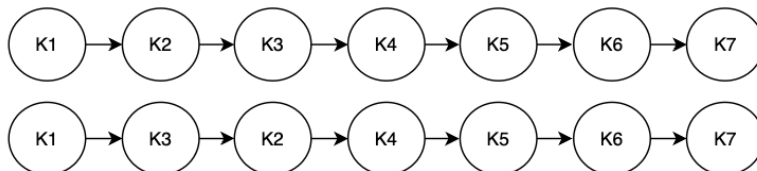
Lai noteiktu, vai kompetenču apgūšanas secība bez iespējas to atkārtot ietekmē sasniedzamo rezultātu noslēguma pārbaudē, tika veikta iegūto faktoru padziļināta izpēte. Izmantojot aprakstošo statistiku, tika iegūti faktorus raksturojošie dati (skat. 3. pielikumu). Statiskā mācību plāna īstenošanas rezultāti liecina, ka sasniedzamais rezultāts ir atkarīgs no kompetenču pasniegšanas secības. Veicot datu analīzi, ir redzams (4.6 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.



4.6. 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. Hipotēzes apstiprināšanai ir veikts eksperiments, kur kompetenču apgūšanas secība tika mainīta (4.7 attēls)



4.7. attēls. Mācību plāna izmaiņas, mainot kompetenču pasniegšanas secību.

Datu analizē 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.

Faktoram  $MP1K2$  vidēja vērtība  $\bar{x}=49,8889$ , minimālā vērtība ir 35 un maksimālā vērtība ir 62, amplitūda ir 27, vērtējumu izkliede 99,861, mediāna ir vienāda ar 53. Faktoram  $MP2K2$  vidējā vērtība  $\bar{x}=64,6667$ , minimālā vērtība ir 58 un maksimālā vērtība ir 70, amplitūda ir 12, vērtējumu izkliede 17,500, mediāna ir vienāda ar 65.

Lai noteiktu, kādu metodi ir jāizmanto eksperimentu laikā iegūto datu apstrādei, tika pārbaudīta datu sadalījuma atbilstība normālajam sadalījumam. Šim nolūkam tika izmantots Šapiro-Vilksa (Shapiro-Wilk) tests ar novērojumu skaitu  $n=18$ . Datu sadalījums, pamatojoties uz testa laika iegūtajiem rezultātiem (4.5.tabula), ir  $p<0.05$  (tabulā apzīmēts ar Sig.). Var secināt, ka datu sadalījums atbilst normālajam sadalījumam.

4.5. tabula

Datu normālajam sadalījumam atbilstības testa rezultāti

Pozīcija	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.	
rezultāts	MP1K2	,178	9	,200*	,904	9	,279
	MP2K2	,198	9	,200*	,922	9	,410

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 (3. pielikums), 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 analizē otrajā posmā tika apskatīti  $K3$  kompetencē sasniegtie rezultāti, mainot kompetenču pasniegšanas secību. Izmantojot aprakstošo statistiku, tika iegūti faktoros

raksturojošie dati (4. pielikums).

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.

Faktoram *MP1K3* vidēja vērtība  $\bar{x}=80,1111$ , minimālā vērtība ir 64 un maksimālā vērtība ir 90, amplitūda ir 26, vērtējumu izkliede 64,611, mediāna ir vienāda ar 80. Faktoram *MP2K3* vidējā vērtība  $\bar{x}=70,1111$ , minimālā vērtība ir 60 un maksimālā vērtība ir 74, amplitūda ir 14, vērtējumu izkliede 24,861 mediāna ir vienāda ar 72.

Lai noteiktu, kādu metodi ir jāizmanto datu apstrādei, tika pārbaudīta datu sadalījuma atbilstība normālajam sadalījumam. Šim nolūkam tika izmantoti Kolmogorova-Smirnova un Šapiro-Vilksa (Shapiro-Wilk) testi ar novērojumu skaitu  $n=18$ . Pamatojoties uz testa laika iegūtajiem rezultātiem (4.6.tabula) var secināt, ka datu sadalījuma likmes nav simetriskas.

4.6. tabula

Datu normālajam sadalījumam atbilstības testa rezultāti

Pozīcija	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
rezultāts MP1K3	,151	9	,200 <sup>*</sup>	,932	9	,498
MP2K3	,314	9	,011	,804	9	,022

Divu neatkarīgu izlašu salīdzināšanai pēc viena parametra tika izmantots Manna-Vitnija U tests. U testa rezultāti parādīja (skat. 4. pielikumu), 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 beigu daļā.
3. Izmantojot mācību moduļu kārtošanas algoritmu, kompetencēs sasniegtais zināšanu līmenis ir līdzsvarots starp visām mācību kursā apgūtajām kompetencēm.

#### ***4.3.3. Adaptīva mācību plāna ģenerēšanas algoritma aprobācija zināšanu līmeņu 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. Nepieciešamajam 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.

### ***Eksperimentā apskatāmais objekts***

Apskatāmais objekts – Moodle MPS izstrādāts mācību kurss, kas nodrošina ar informācijas tehnoloģijām saistīto zināšanu pasniegšanu automatizētā režīmā ([www.das.lv](http://www.das.lv)). Mācību kurss sastāv no 16 sava starpa nesaistītajām kompetencēm. Mācību kurss ietver teorētiskus moduļus 80 stundu apjomā un ar praktisko darbu saistītus moduļus 150 stundu apjomā, kas nodrošina izvēlas iespējas mācību plāna ģenerēšanai. Mācību procesam atvēlētais laiks ir determinēts un nevar būt lielāks par norādīto mācību kursā. Klātienē un neklātienē mācību process notiek paralēli, kas prasa izglītojamā zināšanu līmeņa atjaunošanu pirms un pēc katras mācību aktivitātes. Klātienē un neklātienē mācību nodarbības nevar pārklāties. Mācību kurss tiek uzskatīts par pabeigtu, ja izglītojamā zināšanu līmenis visās iekļautajās pamatkompetencēs pārsniedz 55% robežu.

Eksperiments tika veikts trīs posmos:

- Pirmais posms – 2021. gada marts–2021. gada septembris. Tika veikta etalonmodeļa noteikšana. Satura apgūšanai tika izmantots definēts mācību plāns.
- Otrais posms – 2021. gada septembris–2021. gada decembris. Tika pārbaudīta kompetenču kārtotāšanas algoritma ietekme uz sasniedzamo rezultātu visās kompetencēs.
- Trešais posms – 2022. gada marts–2022. gada augusts. Tika pārbaudīta kompetenču zināšanu līmeņa līdzsvarošanas ietekme uz mācību kursa īstenošanas laiku.

### ***Eksperimenta ieejas dati***

Eksperiments notika, izmantojot vienu mācību kursu eksperimenta trīs posmos, tā struktūra un mācību moduļu saturs eksperimentu laikā netika mainīts. Mācību plāna maiņa notika saskaņā ar izvēlēto eksperimenta uzdevumu. Kompetenču apgūšanas zināšanu līmenis ir vērtēts ar zināšanu pārbaudes testu kopu, kas pārbauda mācību moduļos apgūto informāciju gan

klātienēs nodarbību, gan neklātienēs formātā. Informācija par katrā kompetencē apgūto zināšanu līmeni tiek uzglabāta lietotāja modelī. Mācību kompetenču apgūšanas zināšanu līmenis nevar būt mazāks par obligāto jeb bāzes kompetenču zināšanu līmeni, un mācību procesam atvēlētais laiks nevar pārsniegt mācību kursa kopējo ilgumu. Eksperiments notika, izmantojot vienoto mācību vielas pasniegšanas metodiku un mācību procesa īstenošanas grafiku, tādēļ var uzskatīt, ka ārējie faktori neietekmēja mācību vielas apgūšanu.

Katrā eksperimenta posmā piedalījās 20 izglītojamie. Klātienēs nodarbības forma paredz bāzes kompetenču apgūšanu 30% apjomā un 70% kompetenču apguvei (ne vairāk kā 112 akadēmiskās stundas jeb 5040 minūtes), izmantojot tālmācību formu.

Eksperimenta laikā mērķauditorijas grupai bija noteikts minimālais zināšanu līmeņa sliekšnis  $K[c_i(min)]=55$  (%) mācību kompetenču apgūšanai.

### ***Mācību plāna izpildes apjoma etalona vērtības noteikšana***

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  $\delta_i$ , kas liecina par apskatāmajā kompetencē iegūto zināšanu līmeņa novirzi no vidējā zināšanu līmeņa visās apgūtajās kompetencēs.

$$\delta_i = \left( K[c_i] - \frac{\sum_{n=1}^m K[c_n]}{m} \right) * 100, \quad (4.6.)$$

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	$\delta_i$	legūtais zināšanu līmenis %	Mācību moduļu skaits	$\delta_i$	legūtais zināšanu līmenis %	Mācību moduļu skaits	$\delta_i$
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		

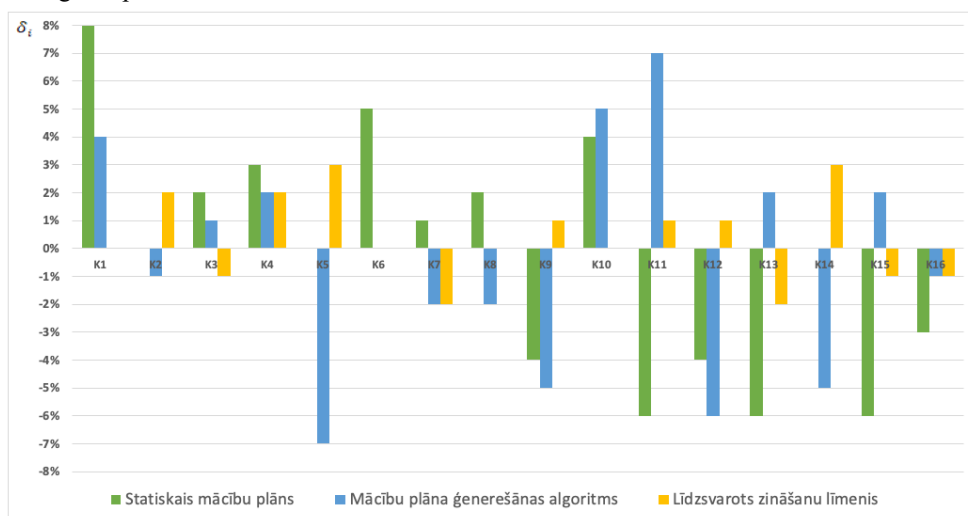
Eksperimenta mērķis ir noteikt katra posmā katras kompetences zināšanu līmeņa novirzi no visu kompetenču vidēja zināšanu līmeņa.

Eksperimenta 1. posmā tika izmantots pedagoga sagatavots statistiskais mācību plāns, kas ietver sevī 105 mācību moduļus 16 kompetenču apgūšanai (4.7. tabula). Kopējais mācību kursa apgūšanas laiks ir 6660 minūtes, vidējais zināšanu līmenis visās kompetencēs ir 61%, minimālais zināšanu līmenis kompetencē ir 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 sevī 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 ir 5715 minūtes, vidējais zināšanu līmenis visās kompetencēs ir 62%, minimālais zināšanu līmenis kompetencē ir 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.

Eksperimenta 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. Eksperimenta 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 ir 58%, maksimālais – 63%. Minimālais zināšanu līmenis 3.posmā palielinājās, salīdzinot ar 2. un 3. posma minimālo zināšanu līmeni noslēguma pārbaudē.



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

4.8. attēlā ir redzamas koeficienta  $\delta_i$  vērtības, kas norāda katras kompetences zināšanu līmeņa novirzi no visu kompetenču vidējā zināšanu līmeņa katrā eksperimenta posmā. Vislielākā novirze ir eksperimenta 1. posmā un vismazākā novirze – 3. posmā, samazinot zināšanu līmeņa starpību starp visām kompetencēm. Tādējādi 3. posmā zināšanu līmeņi tika līdzsvaroti starp visām kompetencēm.

### ***Eksperimenta 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  $\delta_i$  vērtību, līdzsvarojot zināšanu līmeņu starpību starp visām kompetencēm. Izmantojot šo metodi, tiek palielināts mācību kursa apgūšanas laiks.

#### 4.4. Ceturtās nodaļas kopsavilkums

Ceturtajā nodaļā tika veikta promocijas darbā izstrādāto metožu un modeļu eksperimentāla aprobācija. Nodaļas sākumā ir definētas eksperimenta laikā izmantotās sistēmas prasības un ierobežojumi, kā arī aprakstītas apskatāmās sistēmas funkcionālās un nefunkcionālās prasības.

Nodaļā ir aprakstīti trīs eksperimenti, izmantojot mācību pārvaldības sistēmu ar VM. Eksperimenta laikā iegūtie rezultāti apstiprināja, ka:

- Statistiskā mācību plāna izmantošana neļauj pilnvērtīgi apgūt mācību vielu. Gadījumos, kad mācību vielas atkārtošana savā starpā nesaistītajās kompetencēs nav iespējama, sasniedzamais rezultāts ir noteicams izmantojot mācību plāna novērtēšanas modeli.
- Izmantojot uz zināšanu līmeni balstītu kompetenču noteikšanas modeli mācību plānā ģenerēšanai, samazinās tā īstenošanas ilgums, apgūstot tikai jaunas, iepriekš neapgūtas kompetences.
- Mācību plāna pārkonfigurēšanas metožu izmantošana ļauj paaugstināt kopējo iegūto zināšanu līmeni visās apgūtajās kompetencēs, nepalielinot kopējo mācību procesam atvēlēto laiku.
- Izglītojamā iegūto zināšanu līmeņu līdzsvarošana ļauj samazināt kompetenču apgūšanas koeficienta  $\delta_i$  vērtību, līdzsvarojot zināšanu līmeņu starpību.
- Zināšanu līmeņu līdzsvarošana palielina mācību kursa apgūšanas laiku, sasniedzot maksimālo iespējamo mācību vielas apgūšanas laiku.
- Kompetenču kārtotā algoritma izmantošana ļauj palielināt izglītojamo sasniegto zināšanu līmeni kompetencēs ar mazu apgūšanas laiku, novietojot tos mācību plānā beigu daļā.

## 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 izstrādātā 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, tika secināts, ka:

1. tiešsaistes mācību procesa īstenošanas sistēmas izmanto tehnoloģijas, kas tiek pielietotas biznesa, sabiedriskajā un privātajā sektorā, nodrošinot visu līmeņu izglītību; lielais zinātnisko darbu klāsts, kas ir 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 uz izglītojamā zināšanu līmeni 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 zināšanu 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 statistiskā 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 darbā rezultāti ir izmantoti vairāku projektu realizācijā:

- ESF projektā “Nodarbināto personu profesionālās kompetences pilnveide” sadarbībā ar SIA *Steam Education* laikā no 09.2020. līdz 06.2022. Projekta gaitā tika izstrādāts izglītojamā zināšanu līmeņa novērtēšanas rīks.
- Adaptīva mācību plāna novērtēšanas metode tika aprobēta projektā [www.macam.lv](http://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 balstītu 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

- Agbonifo C., Obolo A. (2018). Genetic Algorithm-based Curriculum Sequencing Model For Personalised E-Learning System, *I.J. Modern Education and Computer Science* 5, p. 27-35
- Advanced Distributed Learning Initiative (ADLI). [tiešsaiste] SCORM Overview [skafīts 24.11.2020]. Pieejams: <https://adlnet.gov/projects/scorm>, free access.
- Angelo E. J. (1958). Learning and Teaching Processes in Electrical Engineering Education, in *IRE Transactions on Education*, vol. 1, no. 3, p. 84-87, doi: 10.1109/TE.1958.4322037.
- Anil G., Salman A .M. (2019). Personalized Dynamic Learning Plan Generator for Smart Learning Environments. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 8. 6175-6180. 10.35940/ijrte.B3806.078219.
- Anohina A. (2007). Adaptīvas apmācības un zināšanu vērtēšanas intelektuāla atbalsta sistēmas izstrāde. Promocijas darbs. Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga
- Arnauodova 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.
- Azough S, Bellafkih M, Bouyakhf H. (2010). Adaptive E-learning using Genetic Algorithms, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.10 No.7
- 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
- Barhouni C., Rossi P. G. (2013). The Effectiveness of Instruction-Oriented Hypertext Systems Compared to Direct Instruction in e-learning Environments. *Contemporary Educational Technology*. p.281-308. 10.30935/cedtech/6109.
- Bates A.W. (Tony). (2005). Technology, e-learning and Distance Education, 2nd Edition, doi <https://doi.org/10.4324/9780203463772>
- Bebortta S, Das S. K. (2020). Assessing the Impact of Network Performance on Popular E-Learning Applications, *2020 Sixth International Conference on e-Learning (econf)*, p. 61-65, doi: 10.1109/econf51404.2020.9385497.
- Beļickis I., Blūma D., Koķe T., Markus D., Skujiņa V., Šalme A. (2000). Pedagoģijas terminu skaidrojošā vārdnīca, *Apgāds Zvaigzne ABC*, ISBN 9984-17-686-X
- Bontchev B. (2012). Courseware Adaptation to Learning Styles and Knowledge Level, *E-Learning – Engineering, On-Job Training and Interactive Teaching*. – p. 3–22.
- Brewer W., Pani J. (1983). The Structure of Human Memory. *The Psychology of Learning and Motivation*. 17. 10.1016/S0079-7421(08)60095-X.
- Bruha I. (1989). Defining adaptive and learning systems. *Cybernetics and Systems: An International Journal*. 20. 77-88. 10.1080/01969728908902194.
- Brusilovsky P., Millán E. (2007). User Models for Adaptive Hypermedia and Adaptive Educational Systems. *The Adaptive Web-Methods and Strategies of Web Personalization*. Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN-13: 978-3-540-72078-2.
- Brusilovsky P., Peylo C. (2003). Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems, *International Journal of Artificial Intelligence in Education* 13(2)
- Brusilovsky P., Eklund J., Schwarz E. (1998). Web-based education for all: A tool for development adaptive courseware. *Computer Networks and ISDN Systems*, p. 291–300

- Brusilovsky P. (1997). Efficient techniques for adaptive hypermedia, *Lect. Notes. Comput. Sci.* Vol. 1326. – P. 12–30.
- Brusilovsky P. (1998). Methods and techniques of adaptive hypermedia, *Adaptive Hypermedia and Hypermedia*. – Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, p. 1–43.
- Brusilovsky P. (2001). Adaptive Hypermedia, *User Modeling and User-Adapted Interaction*. Vol. 11. – p. 87–110.
- Brut M, Asandului L, Grigoras G. (2009). A Rule-Based Approach for Developing a Competency-Oriented User Model for E-Learning Systems, *2009 Fourth International Conference on Internet and Web Applications and Services*, p. 555-560, doi: 10.1109/ICIW.2009.90.
- Вул Е.Е. (2003). Сравнительный анализ моделей обучаемого, *Телематика-2003 : труды X Всерос. науч.-метод. конф.* (Санкт-Петербург, 14–17 апр. 2003 г.). – СПб. : СПбГУ ИТМО, p. 362–364.
- Bures M, Jelinek I. (2005). Using AICC to create reusable adaptive hypermedia e-learning content, *2005 International Conference on Cyberworlds (CW'05)*, p. 4 pp.-391, doi: 10.1109/CW.2005.95.
- Bures M., Jelinek I. (2006). Automatic generation of user model from non-trivial hypermedia in adaptive e-learning hypermedia system. 112-115.
- Chelliq I., Erradi M., Aammou S., Khaldi M. (2021). Integration of Pedagogical Videos As Learning Object In An Adaptive Educational Hypermedia Systems According To The Learner Profile, *International Journal of Computer Trends and Technology*, ISSN: 2231 – 2803 doi:10.14445/22312803/IJCTT-V69I6P101
- 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 N. S., Hsieh S. W., Kinshuk. (2008). Effects of Short-Term Memory and Content Representation Type on Mobile Language Learning, *Language, Learning and Technology* . Vol.12, p.:93-113
- Chen C. (2008). Intelligent web-based learning system with personalized learning path guidance, *Computers & Education* 5
- Cheng-Chao S. (2005). An open source platform for educators, *Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'05)*, p. 961-962, doi: 10.1109/ICALT.2005.60.
- 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.
- Coursera. [tiešsaiste] Introduction to Data Analysis using Microsoft Excel [skatīts 08.2022.]. Pieejams: <https://www.coursera.org>
- Daniela L., Rubene Z., Goba L. (2018). Datu apkopojums un ārvalstu un Latvijas pieredzes analīze par digitālo mācību līdzekļu pieejamību un izmantošanu vispārējās izglītības mācību satura nodrošināšanai
- Deborah L. Taylor, Yeung M., Baset A. Z. (2021). Personalized and Adaptive Learning, *Part of the SpringerBriefs in Statistics book series (BRIEFSSTATIST)*
- Eisner E. W. (1979). The Use of Qualitative Forms of Evaluation For Improving Educational Practice. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 1(6), 11–19. <https://doi.org/10.3102/01623737001006011>
- Eisner E. W. (1990). Who decides what schools teach? *Phi Delta Kappan*, 71 (7), 523-526..
- eLearning Industry. [tiešsaiste] Learning Management Systems TOP. [skatīts 09.2022.]. Pieejams: <https://elearningindustry.com/directory/software-categories/learning-management-systems>

Enciklopēdija. [tiešsaiste] Socioloģiskā aptauja [skatīts 04.11.2022.]. Pieejams: <https://enciklopedija.lv/skirklis/5608>

Ettorre A., Franck M., Faron-Zucker C. (2022). Prediction of Students' Performance in E-learning Environments Based on Link Prediction in a Knowledge Graph. 10.1007/978-3-031-11647-6\_86.

EU Science Hub. [tiešsaiste] DigComp CoP and Digital Skills Certification CoP [skatīts 02.10.2022.]. Pieejams: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/digcomp\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/digcomp_en)

Finamore A, Mellia M, Munafò M. M., Torres R, Rao S. G. (2011). YouTube everywhere: impact of device and infrastructure synergies on user experience, *IMC '11: Proceedings of the 2011 ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference*, p. 345–360

Fotakis D., Lianas T., Piliouras G., Skoulakis S.. (2020). Efficient Online Learning of Optimal Rankings: Dimensionality Reduction via Gradient Descent, *34th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2020)*, Vancouver, Canada

Grubisic Ani, Stankov S., Žitko B. (2015). Adaptive Courseware: A Literature Review, *Journal of Universal Computer Science*, vol. 21, no. 9 (2015), 1168-1209

Gudjons H. (2007). Pedagoģijas pamatziņas. Rīga: Zvaigzne ABC, p. 258.-262.

H5P [tiešsaiste]. H5P documentation [skatīts 08.2022.]. Pieejams: <https://h5p.org/documentation>

Handayani V., Lukman Budiono F., Rosyada D., Amriza R. Nisa, Zulkifli S., Masruroh S. U. (2020). Gamified Learning Platform Analysis for Designing a Gamification-Based UI / UX of E-learning Applications: A Systematic Literature Review, *2020 8th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*, p. 1-5, doi: 10.1109/CITSM50537.2020.9268791.

Haritonov I. M. [tiešsaiste] Прогнозирование уровня освоения компетенций выпускниками вуза на основе рейтинговых оценок абитуриентов [skatīts 08.2022.]. Pieejams: <https://s.science-education.ru/pdf/2012/6/239.pdf>

Hatzilygeroudis I., Giannoulis C., Koutsojannis C. (2005). Combining expert systems and adaptive hypermedia technologies in a Web based educational system, *Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'05)*, p. 249-253, doi: 10.1109/ICALT.2005.86.

Нлопотов М.В. (2014). Модели и алгоритмы интеллектуального анализа образовательных данных для поддержки принятия решений : дис. канд. техн. наук СПб.

Hovakimyan A, Sargsyan S, Barkhoudaryan S. (2004). Genetic algorithm and the problem of getting knowledge in e-learning systems, *IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, 2004. Proceedings., Joensuu, Finland, 2004, p. 336-339

Huang P.R., Chang L.P., Shih Y.C, Chen S.Y. (2011). Prior knowledge and cognitive styles in personalized learning. *Proceedings of the 19th International Conference on Computers in Education, ICCE 2011*. 206-220.

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.

Ingavelez-Guerra P., Oton-Tortosa S., Hilera-Gonzalez J. et al. (2021). The use of accessibility metadata in e-learning environments: a systematic literature review. *Univ Access Inf Soc*, <https://doi.org/10.1007/s10209-021-00851-x>

Izglītības zinātnes ministrija (IZM). (2020). [tiešsaiste] Valsts izglītības informācijas sistēma [skatīts 08.10.2022.]. Pieejams: <https://www.izm.gov.lv/lv/valsts-izglitibas-informacijas-sistema>

Izglītības zinātnes ministrija (IZM). (2021). [tiešsaiste] Izglītības attīstības pamatnostādnes 2021. – 2027. gadam. [skatīts 24.08.2022.] Pieejams: <https://www.izm.gov.lv/lv/media/13864/download>.

Jamuna R. S., Ashok M. S. (2009). A survey on service-oriented architecture for E-learning system, *2009 International Conference on Intelligent Agent & Multi-Agent Systems*, p. 1-3, doi:

10.1109/IAMA.2009.5228029.

Jaukovic J., Jocić K., Karabasevic G., Popovic 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.

Jazuly A., Kweldju S., Dewanti E., Sri R. L. (2022) Innovation of Adaptive Technology based on the Internet of Things (IoT) in Teaching English for Specific Purposes, *Hong Kong journal of social sciences*, Vol. 59 Spring/Summer 2022

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

Jotsov V., Akramova A., Tkach G., Kerimbayev N., Madyarova G. (2021). Development of a Virtual Conference Online Platform for Adaptive Learning, *International Conference AUTOMATICS AND INFORMATICS'2021*, Bulgaria (ICAI'21)

Jurenoka S., Bobrovskis S., Jurenoks A. (2018). Using Fuzzy Logic for Behavior Scenario Selection in Moodle Systems. No: *EDULEARN18 Proceedings: 10th International Conference on Education and New Learning Technologies*, p. 4837-4842

Jurenoka S., Grundspeņķis 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

Jurenoka S., Jurenoks A. (2018). A Method for Learning Scenario Selection and Modification in Intelligent Tutoring Systems. *Workshops and Doctoral Consortium co-located with 17th International Conference "Perspectives in Business Informatics Research" (BIR 2018)*. CEUR Workshop Proceedings. Vol.2218, Sp. 335-340

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

Jurenoks A., Jurenoka S., Novickis L. (2017). 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, p. 478-486

Kandel A., El-Khouly M. M., Abdel-Hakeem M. (2004) Tutoring system for teaching HTML through WWW, *Proceedings. 2004 International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications*, p. 107-108, doi: 10.1109/ICTTA.2004.1307637.

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

Kardan A. A., Noorbehbahani F. (2009). Using Learners' Annotations to Produce Feedbacks for Selecting and Editing Learning Contents in e-Learning Systems, *2009 Sixth International Conference on Information Technology: New Generations*, p. 1128-1133, doi: 10.1109/ITNG.2009.229.

Kataļņikova S., Grundspeņķis J., Jurenoka S. (2018). Intelligent Collaborative Educational System within the Framework of Competence Approach. *Workshops and Doctoral Consortium co-located with 17th International Conference Perspectives in Business Informatics Research (BIR 2018)*. CEUR Workshop Proceedings. Vol.2218, p. 348-355

Kearney N.C., Cook W. W. (1961). Curriculum. In C. W. Harris, *Encyclopedia of Educational Research*.

Kim Myung, Kim Yong. (2017). Development of UI Guideline for Senior Citizens' e-Learning Content. 10.1007/978-981-10-3023-9\_116.

Klett F., Pharow P. (2006). How to Achieve User Satisfaction in Complex E-Learning

Environments, 2006 7th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, p. 773-785, doi: 10.1109/ITHET.2006.339699.

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

Kocukova M.V. (2015). Скорость забывания знаний студентами различного уровня подготовки / *Международный научно-исследовательский журнал*. - 2015. - №3 (34). - URL: <https://research-journal.org/archive/3-34-2015-april/skorost-zabyvaniya-znanij-studentami-razlichnogo-urovnya-podgotovki>

Kostolanyova K., Sarmanova J., Takacs O. (2011). Analysis of Learning Styles for Adaptive E-Learning, *In book: Digital Information Processing and Communications*

Kovalev I.V., Karaseva M.V., Suzdaleva E.A. (2002) Системные аспекты организации и применения мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии, *Educational Technology & Society*. № 5. p. 198–212.

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.

Letina, A. (2020). Development of Students' Learning to Learn Competence in Primary Science. *Educ. Sci.*10, 325. <https://doi.org/10.3390/educsci10110325>

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

Lihua Bi. (2021) Personalized adaptive online learning analysis model based on feature extraction and its implementation, *Journal of Physics: Conference Series, Volume 1982, 2021 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Information Systems (ICAIS 2021) 28-30 May 2021, Chongqing, China*, DOI 10.1088/1742-6596/1982/1/012180

Likumi.lv. (2021) [tiešsaiste] Ministru kabineta noteikumi Nr. 706. *Mācību pārvaldības sistēmas noteikumi*. Rīgā 2021. gada 26. oktobrī [skatīts 06.06.2022]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/327222-macibu-parvaldibas-sistemas-noteikumi>

Likumi.lv. (2022a) [tiešsaiste] Izglītības likums [skatīts 08.2022]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/50759-izglitibas-likums>

Likumi.lv. (2022b) [tiešsaiste] Ministru kabineta noteikumi Nr. 111, *Attālināto mācību organizēšanas un īstenošanas kārtība*, Rīgā 2022. gada 8. februārī (prot. Nr. 6 35. §) [skatīts 06.06.2022]. Pieejams: <https://likumi.lv/ta/id/329849-attalinato-macibu-organizesanas-un-istenosanas-kartiba>

Link T.M., Marz R. (2006). Computer literacy and attitudes towards e-learning among first year medical students. *BMC Med Educ* 6, 34. <https://doi.org/10.1186/1472-6920-6-34>

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

Manal A., Nashwa A., Aziz A. (2017). E-learning standards, *Communication, Management and Information Technology – Sampaio de Alencar*

Margeviča-Grinberga I., Šūmane I. (2020). [tiešsaiste] Mūsdienīga mācību vide skolēnu aktīvai iesaistīšanai mācību procesā, [skatīts 08.11.2022.]. Pieejams: [https://dspace.lu.lv/dspace/bitstream/handle/7/54423/margevica\\_grinberga\\_ieva-sumane\\_ilzemuzdieniga\\_macibu\\_vede\\_skolenu\\_aktivai\\_iesaistisanai\\_mac\\_procesa-book.pdf](https://dspace.lu.lv/dspace/bitstream/handle/7/54423/margevica_grinberga_ieva-sumane_ilzemuzdieniga_macibu_vede_skolenu_aktivai_iesaistisanai_mac_procesa-book.pdf)

Madani Y, Bengourram J, Erritali M, Hssina B, M. (2017). Adaptive e-learning using Genetic Algorithm and Sentiments Analysis in a Big Data System, *(IJACSA) International Journal of Advanced*

Marques B. P., Villate J. E., Carvalho C. V. (2011). Applying the UTAUT model in Engineering Higher Education: Teacher's technology adoption, *6th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI 2011)*, p. 1-6.

Martin, F. (2020). Adaptive learning modules, *The SAGE encyclopedia of higher education (eds.)*. – London : Sage., p. 2–4.

Maslo I., Tiļļa I. (2005). Kompetence kā audzināšanas ideāls un analītiskā kategorija. *Skolotājs*, 3 (51), 4. 9.

McNaught K. R., Zagorecki A. (2009). Using dynamic Bayesian networks for prognostic modelling to inform maintenance decision making, *2009 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, p. 1155-1159, doi: 10.1109/IEEM.2009.5372973.

MDN. [tiešsaiste] HTML: HyperText Markup Language. [skatīts 20.11.2022.]. Pieejams: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTML>

Mejanova S., Lebedeva M., Assylbekova L., Ldokova G. (2022). Personalized distance-learning experience in determining students' performance. *World Journal on Educational Technology: Current Issues*. 14. 1428-1437. 10.18844/wjet.v14i5.7086.

Mohamad M. A., Amron M. T., Md Noh N. H. (2021). Assessing the Acceptance of E-Learning via Technology Acceptance Model (TAM), *2021 6th IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)*, p. 1-5, doi: 10.1109/ICRAIE52900.2021.9704019.

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

Moodle [tiešsaiste]. Moodle documentation [skatīts 08.2022.]. Pieejams: [https://docs.moodle.org/400/en/Main\\_page](https://docs.moodle.org/400/en/Main_page)

Morgan N. V. (2003). An overview of metadata for e-learning, focusing on the Gateway to Educational Materials and activities of the Dublin Core Education Working Group, *2003 Symposium on Applications and the Internet Workshops, 2003. Proceedings.*, p. 399-, doi: 10.1109/SAINTW.2003.1210193.

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.

Murray P., Chapman R. (2003). From Continuous Improvement to Organizational Learning: Developmental Theory. *Learning Organization, The*. 10. 272-282. 10.1108/09696470310486629.

Murugappan V., Ramesh, P. (2022). Analysis on quality of learning in e-Learning platforms. *Advances in Engineering Software*. 172. 103168. 10.1016/j.advengsoft.2022.103168.

Nakano H., Iriguchi N., Sugitani K., Kita T., Musashi Y., Migita M., Matsuba R., Ohta Y., Gobayashi T. (2005). The instructional effects of on-line tests on the large-scale IT courses, *2005 6th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training*, p. F4B/7-F4B11, doi: 10.1109/ITHET.2005.1560304.

Natriello G. (2017). The Adaptive Learning Landscape. *Teachers College Record*, 119(3), p.1–46. <https://doi.org/10.1177/016146811711900307>

Neepa K. S. (2012). E-Learning and Semantic Web, *International Journal of e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning*, Vol. 2, No. 2, April 2012

Nguyen L. (2014). A user modeling system for adaptive learning, *2014 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, p. 864-866, doi: 10.1109/ICL.2014.7017887.

Nikitenko A. (2006). Hibrīdas intelektuālas sistēmas izstrādāšana un realizācija, promocijas darbs,



Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga

Nithya C., Nirmala K. (2022). An Implementation of Mobile Shareable Content Object Reference Model for Online Assessment Using Virtual Learning Environment. 10.1007/978-3-030-86165-0\_9.

Njuguna N., Flanders A., Kahn Jr, Charles. (2007). The Shareable Content Object Reference Model: Reconfiguring Radiology Education for the 21st Century. *Radiological Society of North America 2007 Scientific Assembly and Annual Meeting*

Nodarbinātības valsts aģentūra (NVA). (2020a) [tiešsaiste] Atbalsts bezdarbnieku izglītībai, [skatīts 24.07.2022]. Pieejams: <https://www.nva.gov.lv/lv/node/244>

Nodarbinātības valsts aģentūra (NVA). (2020b) [tiešsaiste] Bezdarba rādītāji un NVA aktivitātes 2020. gadā, [skatīts 16.06.2022]. Pieejams: <https://www.nva.gov.lv/lv/2020gads>

Norenkov I. P. (2003). Технологии разделяемых единиц контента для создания и сопровождения информационно-образовательных сред, *Информационные технологии*. № 8. – p. 34–39.

OECD, (June 2020) [tiešsaiste] Education policy outlook Latvia 2020, [skatīts 3.09.2022]. Pieejams: <https://www.oecd.org/education/policy-outlook/country-profile-Latvia-2020.pdf>, (accessed 3.09.2022)

Oxman S., Wong W. (2014). White Paper: Adaptive Learning Systems. Integrated Education Solutions, Open Journal of Modern Linguistics.

Oye D., Noorminshah I., Nor A. R. (2003). The Impact of UTAUT Model and ICT Theoretical Framework on University Academic Staff: Focus on Adamawa State University, Nigeria.. *International journal of computers & technology*. 2. 103-111. 10.24297/ijct.v2i2b.2640.

Parmar A. (2012). Paper Review on Sharable Content Object Reference Model (SCORM): Framework for E-learning Standard, *2012 Second International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies*, p. 409-411, doi: 10.1109/ACCT.2012.95.

Patil U., Chandankhede A. (2022). E-Learning in Education. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. p.32-35. 10.48175/IJARSCT-7407.

Pedagogs.lv. (2020) [tiešsaiste] Mācību metožu, organizācijas formu un līdzekļu izvēle, kurā ir kurā ir dažādi mācību materiāla apguves līmeņi, [skatīts 3.03.2020], <https://pedagogs.lv/2018/02/21/macibu-metozu-organizacijas-formu-un-lidzeklu-izvele-kura-ir-kura-ir-dazadi-macibu-materiala-apguves-limeni>

Pedagogs.lv. (2022) [tiešsaiste] Pedagoģijas terminu skaidrojošā vārdnīca jeb īsi un saprotami par sarežģītajiem terminiem pedagoģijas mācībā. [skatīts 18.11.2022]. Pieejams: <https://pedagogs.lv/2018/02/11/pedagogijas-terminu-skaidrojosa-vardnica-jeb-isi-un-saprotami-par-sarezgijajiem-terminiem-pedagogijas-maciba>

Pena-Molina A. E., Larrondo-Petrie M. M., Zapata-Rivera L. F. (2022). The Need for E-Learning Standards for Online Laboratory Management Systems, *2022 IEEE Learning with MOOCS (LWMOOCS), Antigua Guatemala, Guatemala*, p. 240-245, doi: 10.1109/LWMOOCS53067.2022.9927880

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

Piller, Y., Ponnens P. (2018). Implementing a new learning management system: developing a roadmap for migration. pp.3623-3630. 10.21125/inted.2018.0698.

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*

Pratt D. (1994). Curriculum Planning. *A handbook for professionals*. Harcourt, Inc. ISBN 0-15-501098-0

Prior E. J., Pinelli T. E., Starr R. M., Massenberg S. E. (2000). New distance learning approaches to remote sensing education, *IGARSS 2000. IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Taking the Pulse of the Planet: The Role of Remote Sensing in Managing the Environment. Proceedings* (Cat. No.00CH37120), p. 2774-2776 vol.6, doi: 10.1109/IGARSS.2000.859711.

Profizgl. [tiešsaiste] Novitātes pedagogijā profesionālās izglītības skolotājiem, [skatīts 8.10.2022]. Pieejams: <https://profizgl.lu.lv/mod/book/view.php?id=12113&chapterid=3597>

Raj Roy. (2021). [tiešsaiste] What is Dynamic Content Definition, Types, Strategy, Best Practices with Examples, [skatīts 02.10.2022] Pieejams: <https://www.spiceworks.com/marketing/content-marketing/articles/what-is-dynamic-content-definition-types-strategy-best-practices-with-examples/>, skatīts

Rahimi R. A. (2020). A Survey of Technology Acceptance Models in the Creative Industry: Exploring Key Limitations, *2020 13th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)*, p. 9-14, doi: 10.1109/DeSE51703.2020.9450774.

Redlinger E., Glas B., Rong Y. (2021). Impact of screen size on cognitive training task performance: An HMD study. *International Journal of Psychophysiology*. 166. 10.1016/j.ijpsycho.2021.06.003.

Refaay E., Amel A., Nagwa S. (2017). Development of Web- Based Nutritional Health Education Module. *IOSR Journal of Nursing and Health Science*. 06. 62-74. 10.9790/1959-0603046274.

Research. [tiešsaiste] List of Learning Management Systems for Schools and Universities. [skatīts 09.2022.]. Pieejams: <https://research.com/software/list-of-learning-management-systems-for-schools-and-universities>

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

Santos J. M., Anido L., Llamas M. (2003). On the use of e-learning standards in adaptive learning systems, *Proceedings 3rd IEEE International Conference on Advanced Technologies*, doi: 10.1109/ICALT.2003.1215203.

Santoso, H. B., Isal, R. Y. K., Basaruddin, T., Sadita, L., Schrepp, M. (2014). Research-in-progress: User experience evaluation of Student Centered E-Learning Environment for computer science program, *2014 3rd International Conference on User Science and Engineering (i-USER)*, p. 52-55, doi: 10.1109/IUSER.2014.7002676..

Sarkar, S., Huber, M. (2021). Personalized Learning Path Generation in E-Learning Systems using Reinforcement Learning and Generative Adversarial Networks, *2021 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, p. 92-99, doi: 10.1109/SMC52423.2021.9658967.

Schmidtke K. (2002). Cognitive and brain mechanisms involved in procedural learning. In: *P Calabrese, A Neugebauer (Hrsg.): Memory and Emotion*, p. 219 - 232. London: World Scientific.

Schreurs J., Moreau R. (2007). Converting digital learning content into learning objects.

Senevirathne G., Manathunga K. (2021). Impact of E-Learning System User Interface Design on User Satisfaction, *2021 IEEE 9th Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*, p. 01-06, doi: 10.1109/R10-HTC53172.2021.9641570.

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.

Shi D., Wang T., Xing H., Xu H. (2020). A learning path recommendation model based on a multidimensional knowledge graph framework for e-learning. *Knowledge-Based Systems*. 195. 105618. 10.1016/j.knosys.2020.105618.

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

Siok W. T., Liu C. Y. (2018). Differential impacts of different keyboard inputting methods on reading and writing skills. *Sci Rep* 8, 17183 <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35268-9>

Siththasak O., Gilbert L., Davis H. C. (2008). Deriving E-Assessment from a Competency Model, *2008 Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, p. 327-329, doi: 10.1109/ICALT.2008.255.

Skinner B. F. (1958). Teaching Machines, *Science, New Series, Volume 128*, Issue 3330, 969-977.

Skola 2030. (2018). [tiešsaiste] Mūsdienīga izglītība ikvienā pamatskolā. Pamatizglītība, [skatīts 8.10.2022]. Pieejams: <https://skola2030.lv/lv/skolotajiem/izglitibas-pakapes/pamatizglitiba>

Skola 2030. (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>

SKOLA 2030a. [tiešsaiste] Izglītība mūsdienīgai lietpratībai: mācību saturs un pieejas apraksts [skatīts 08.2022.]. Pieejams: [https://skola2030.lv/admin/filemanager/files/2/prezentacija\\_izgl\\_musdienigai.pdf](https://skola2030.lv/admin/filemanager/files/2/prezentacija_izgl_musdienigai.pdf)

SKOLA 2030b. [tiešsaiste] Vērtēšana [skatīts 09.2022.]. Pieejams: <https://www.skola2030.lv/lv/istenosana/macibu-pieejas/vertesana>

Skujiņa V., Anspoka Z., Kalnbērziņa V., Šalme A., Lingvodidaktikas terminu skaidrojošā vārdnīca, *ESF projekts "Atbalsts valsts valodas apguvei un bilingvālajai izglītībai"*, ISBN 978-9984-815-44-2

Software Testing Help. (2022). [tiešsaiste] 15 Best Learning Management Systems (LMS Of The Year 2022), [skatīts 8.11.2022]. Pieejams: <https://www.softwaretestinghelp.com/learning-management-system>.

SOLO. [tiešsaiste] Online typing speed test. [skatīts 09.2022.]. Pieejams: <https://solo.nabiraem.ru/en/overview/typingtest>

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>

Srinivasa K., Kurni M., Saritha K.. (2022). Pedagogy for E-learning. 10.1007/978-981-19-6734-4\_12.

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](https://doi.org/10.1007/3-540-68716-5_63).

Stokes P. J. (1999). E-Learning: Education Businesses Transform Schooling. *Forum on Technology in Education: Envisioning the Future*. Proceedings (Washington, D.C., December 1-2, 1999), see IR 020 683.

Šumak B., Polancic G., Hericko M. (2010). An Empirical Study of Virtual Learning Environment Adoption Using UTAUT, *2010 Second International Conference on Mobile, Hybrid, and On-Line Learning*, p. 17-22, doi: 10.1109/eLmL.2010.11.

Šumak, B., Podgorelec, V., Karakatic, S., Dolenc, K., Sorgo A. (2019). Development of an Autonomous, Intelligent and Adaptive E-learning System, 2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, pp. 1492-1497, doi: 10.23919/MIPRO.2019.8756889.

Takahaši A. (2004). Ģenētiskie algoritmi sarežģītu funkciju optimizācijā, promocijas darbs, Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga

Talal A. (2020). The Effect of Screen Size on Students' Cognitive Load in Mobile Learning. *JETL (Journal of Education, Teaching and Learning)*. 5. 280. 10.26737/jetl.v5i2.2203.

- Timothy P., Novikoff J. M., Kleinberg S., Strogatz H. (2011). Education of a model student, *PNAS* vol. 6, <https://doi.org/10.1073/pnas.1109863109>
- Tkachenko O., Tyrkov V. (2022). Distance Learning Management Systems, *2022 Digital Platform Information Technologies in Sociocultural Sphere* 5(1):67-81
- Totkov G., Gaftandzhieva S., Doneva R. (2017). Accumulative frame models in e-learning, *Scientific Works of the Union of Scientists in Bulgaria-Plovdiv, series C. Technics and Technologies*, Vol. XV., ISSN 2534-9384
- Trikha N., Godbole A. (2016). Adaptive e-learning system using hybrid approach, *2016 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, p. 1-4, doi: 10.1109/INVENTIVE.2016.7824844.
- Tripathi D., Singh N. (2016). Hypertext, Interactivity and AI: Paradigm Shifts in the Mode of e-Learning, *International Journal of Communication development* 2016, vol. 6, ISSN.2231-2498
- Turilova-Miščenko T. (2012). Bilingvālo skolēnu verbālā izpratne un darba atmiņa, promocijas darbs, Latvijas universitāte, Rīga
- Typing. (2022) [tiešsaiste] Typing Speed: How to Set Your Words-Per-Minute (WPM) Goal, [skatīts 11.06.2022]. Pieejams: <https://www.typing.com/blog/typing-speed>
- Urde T. (2021). [tiešsaiste] E-mācību veidi un mācību platformu nozīme mācību procesā, [skatīts 15.10.2022]. Pieejams: <https://metodes.lv/izglitibas-tehnologijas/e-macibu-veidi-un-macibu-platformu-nozime-macibu-procesa>
- Ursavas O. (2022). Unified Theory of Acceptance and Use of Technology Model (UTAUT). 10.1007/978-3-031-10846-4\_6.
- Uta I. A. (2007). E-learning Standards, *Informatica Economica, nr. 1 (41)/2007*
- Vaca J. M., Agudo J. E., Rico M. (2012). Adaptive Competence-Based System in an E-learning Platform: Adapting Support Tasks to Students, *2012 IEEE 12th International Conference on Advanced Learning Technologies*, p. 720-721, doi: 10.1109/ICALT.2012.173..
- Vagale V. (2017). Uz lietotāja modeli balstīta personalizēta adaptīva e-studiju sistēma, *Promocijas darbs*, Latvijas Universitāte, Rīga
- Valsts izglītības satura centrs (VISC). (2016) [tiešsaiste] Gada publiskais pārskats. 2016. [skatīts 20.11.2022]. Pieejams: <https://www.visc.gov.lv/lv/media/2572/download?attachment>
- Valsts izglītības satura centrs (VISC). (2020) [tiešsaiste] Gada publiskais pārskats. 2020. [skatīts 21.11.2022.]. Pieejams: <https://www.visc.gov.lv/lv/media/15775/download?attachment>
- Valsts izglītības satura centrs (VISC). [tiešsaiste] Metodiskie materiāli un reģistri, Terminu un citi jēdzieni pamatizglītības un vispārējās vidējās izglītības standartos. [skatīts 18.11.2022]. Pieejams: [https://registri.visc.gov.lv/vispizglitiba/saturs/dokumenti/metmat/terminu\\_standartos.pdf](https://registri.visc.gov.lv/vispizglitiba/saturs/dokumenti/metmat/terminu_standartos.pdf)
- 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.
- Vlasenko K., Lovianova I., Volkov S., Sitak I., Chumak O., Krasnoshchok A., Bohdanova N., Semerikov S. (2022). UI/UX design of educational on-line courses, *CEUR Workshop Proceedings*, p.184-199.
- Volanskaja, T.A. (2002). Методы и технологии адаптивной гипермедиа, *Современные проблемы конструирования программ / под ред. Новосибирск : ИСН СО РАН*, 2002. – С. 38–68
- 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*
- Wang A. Y. (1983). Individual differences in learning speed, *Journal of Experimental Psychology*:

*Learning, Memory and Cognition*, p 300–311, <https://doi.org/10.1037/0278-7393.9.2.300>.

Wang F. H., Chen D. Y. (2008). A Knowledge Integration Framework for Adaptive Learning Systems Based on Semantic Web Languages, *2008 Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, p. 64-68, doi: 10.1109/ICALT.2008.217.

Weilkiens T., Lamm J., Roth S., Walker M. (2022). Definition of System Architecture. ISBN:9781119746683, doi:10.1002/9781119746683.ch5.

Wen J. R., Yang S. M. (2005). The effects of learning style and flow experience on the effectiveness of e-learning, *Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'05)*, p. 802-805, doi: 10.1109/ICALT.2005.270.

Wisher R. A., Dexter J. (2004). Fletcher, the case for advanced distributed learning, *Information & Security. An International Journal*, Vol.14

WordPress. [tiešsaiste] Learnpress documentation [skatīts 08.2022.]. Pieejams: <https://wordpress.org/support/plugin/learnpress/>

Xiang-Feng L. (2014). Research on Information Course Design and Application Based on Moodle Platform, *2014 7th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, p. 543-546, doi: 10.1109/ICICTA.2014.137.

Yang J., Tlili A., Huang R., Zhuang R., Bhagat K.. (2021). Development and Validation of a Digital Learning Competence Scale: A Comprehensive Review. *Sustainability*. 13. 5593. 10.3390/su13105593.

Young S., June Y, Chung L., Lee H. (2013). Interacting with Screenagers in Classrooms, *November 2013 Procedia - Social and Behavioral Sciences* 103:534-541

Zames G., Wang L. Y. (1990). What is an adaptive-learning system?, *29th IEEE Conference on Decision and Control*, p. 2861-2864 vol.5, doi: 10.1109/CDC.1990.203303.

Zhang B., Li Y., Shi Y., Hou L. (2020). Recognition and Application of Learner's Cognitive Ability for Adaptive E-learning, *2020 IEEE 20th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, p. 62-64, doi: 10.1109/ICALT49669.2020.00025.

Žogla I. (2001). Didaktikas teorijas un jēdzieni : salīdzinošais aspekts, *Latvijas Zinātņu Akadēmijas Vēstis*. - (A daļa: Sociālās un humanitārās zinātnes). - 55.sēj., Nr.1/2 (2001), 20.-25.lpp.

Žogla I. (2006). Curriculum jēdziens definīcijās un salīdzinājumā/Notion of Curriculum Defined and Compared, *Pedagoģija un skolotāju izglītība* (Raksti / Latvijas Universitāte; 700.sēj.).

Zuters J. (2007). Neironu tīkli stundu saraksta sastādīšanas modelī, promocijas darbs, Latvijas Universitāte, Rīga

## **PIELIKUMI**

**1. eksperimenta rezultātu apkopojums un analīze**  
 (SPSS programmatūras atskaite)  
**Case Processing Summary**

	veids	Valid		Cases Missing		Total	
		N	Percent	N	Percent	N	Percent
rezultāts	ST	76	100,0%	0	0,0%	76	100,0%
	AD2	76	100,0%	0	0,0%	76	100,0%

**Descriptives**

veids		Statistic	Std. Error		
rezultāts	ST	Mean	64,1579	,94443	
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	62,2765	
			Upper Bound	66,0393	
		5% Trimmed Mean	64,0643		
		Median	64,0000		
		Variance	67,788		
		Std. Deviation	8,23335		
		Minimum	52,00		
		Maximum	78,00		
		Range	26,00		
		Interquartile Range	14,50		
		Skewness	,139	,276	
		Kurtosis	-1,227	,545	
		AD2	AD2	Mean	74,9211
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound			73,9539	
	Upper Bound			75,8882	
5% Trimmed Mean	74,8246				
Median	75,0000				
Variance	17,914				
Std. Deviation	4,23246				
Minimum	68,00				
Maximum	88,00				
Range	20,00				
Interquartile Range	6,00				
Skewness	,228			,276	
Kurtosis	-,018			,545	

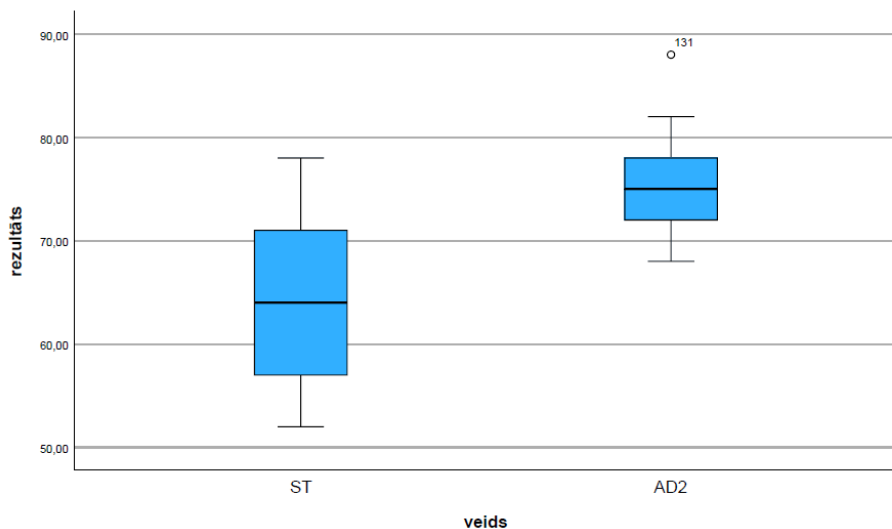
### Tests of Normality

rezultāts	veids	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
	ST	,097	76	,075	,939	76	,001
	AD2	,086	76	,200*	,967	76	,048

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

### Detrended Normal Q-Q Plots



### Mann-Whitney Test

#### Ranks

	Pozīcija	N	Mean Rank	Sum of Ranks
REZ	1,00	9	5,00	45,00
	3,00	9	14,00	126,00
Total		18		

#### Test Statistics<sup>a</sup>

	REZ
Mann-Whitney U	,000
Wilcoxon W	45,000
Z	-3,582
Asymp. Sig. (2-tailed)	<,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	<,001 <sup>b</sup>

a. Grouping Variable: Pozīcija

b. Not corrected for ties.



## 1. eksperimenta rezultātu apkopojums un analīze (SPSS programmatūras atskaite)

### Case Processing Summary

rezultāts	veids	Valid		Cases Missing		Total	
		N	Percent	N	Percent	N	Percent
rezultāts	ST	76	100,0%	0	0,0%	76	100,0%
	AD1	76	100,0%	0	0,0%	76	100,0%

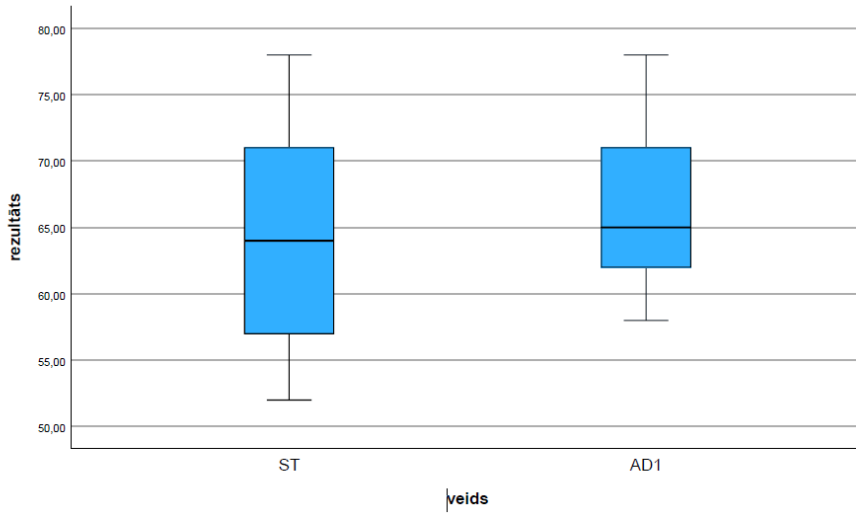
### Descriptives

rezultāts	veids	Statistic	Std. Error
rezultāts	ST	Mean	64,1579
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	62,2765
		Upper Bound	66,0393
	5% Trimmed Mean	64,0643	
	Median	64,0000	
	Variance	67,788	
	Std. Deviation	8,23335	
	Minimum	52,00	
	Maximum	78,00	
	Range	26,00	
	Interquartile Range	14,50	
	Skewness	,139	,276
	Kurtosis	-1,227	,545
	AD1	Mean	66,7237
95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	65,3816
		Upper Bound	68,0658
5% Trimmed Mean		66,5409	
Median		65,0000	
Variance		34,496	
Std. Deviation		5,87333	
Minimum		58,00	
Maximum		78,00	
Range		20,00	
Interquartile Range		9,00	
Skewness		,513	,276
Kurtosis		-1,001	,545

### Tests of Normality

rezultāts	veids	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
rezultāts	ST	,097	76	,075	,939	76	,001
	AD1	,142	76	<,001	,919	76	<,001

a. Lilliefors Significance Correction



### Mann-Whitney Test

#### Ranks

	veids	N	Mean Rank	Sum of Ranks
rezultāts	ST	76	68,94	5239,50
	AD1	76	84,06	6388,50
	Total	152		

#### Test Statistics<sup>a</sup>

	rezultāts
Mann-Whitney U	2313,500
Wilcoxon W	5239,500
Z	-2,119
Asymp. Sig. (2-tailed)	,034

a. Grouping Variable: veids

## 2. eksperimenta rezultātu apkopojums un analīze (SPSS programmatūras atskaite)

### Case Processing Summary

	Pozīcija	Valid		Cases Missing		Total	
		N	Percent	N	Percent	N	Percent
rezultāts	MP1K2	9	100,0%	0	0,0%	9	100,0%
	MP2K2	9	100,0%	0	0,0%	9	100,0%

### Descriptives

	Pozīcija	Statistic	Std. Error		
rezultāts	MP1K2	Mean	49,8889	3,33102	
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	42,2075	
			Upper Bound	57,5702	
		5% Trimmed Mean	50,0432		
		Median	53,0000		
		Variance	99,861		
		Std. Deviation	9,99305		
		Minimum	35,00		
		Maximum	62,00		
		Range	27,00		
		Interquartile Range	20,00		
		Skewness	-,450	,717	
		Kurtosis	-1,389	1,400	
			MP2K2	Mean	64,6667
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound			61,4511	
	Upper Bound			67,8822	
5% Trimmed Mean	64,7407				
Median	65,0000				
Variance	17,500				
Std. Deviation	4,18330				
Minimum	58,00				
Maximum	70,00				
Range	12,00				
Interquartile Range	7,50				
Skewness	-,568			,717	
Kurtosis	-,948			1,400	

### Tests of Normality

	Pozīcija	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
rezultāts	MP1K2	,178	9	,200*	,904	9	,279
	MP2K2	,198	9	,200*	,922	9	,410

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

### T-Test

#### Group Statistics

	Pozīcija	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
rezultāts	MP1K2	9	49,8889	9,99305	3,33102
	MP2K2	9	64,6667	4,18330	1,39443

#### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means	
		F	Sig.	t	df
rezultāts	Equal variances assumed	6,916	,018	-4,092	16
	Equal variances not assumed			-4,092	10,720

#### Independent Samples Test

		t-test for Equality of Means			
		Significance		Mean Difference	Std. Error Difference
		One-Sided p	Two-Sided p		
rezultāts	Equal variances assumed	<,001	<,001	-14,77778	3,61111
	Equal variances not assumed	<,001	,002	-14,77778	3,61111

## 2. eksperimenta rezultātu apkopojums un analīze (SPSS programmatūras atskaite)

### Case Processing Summary

	Pozīcija	Valid		Cases Missing		Total	
		N	Percent	N	Percent	N	Percent
rezultāts	MP1K3	9	100,0%	0	0,0%	9	100,0%
	MP2K3	9	100,0%	0	0,0%	9	100,0%

### Descriptives

	Pozīcija		Statistic	Std. Error	
rezultāts	MP1K3	Mean	80,1111	2,67937	
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	73,9325	
			Upper Bound	86,2897	
		5% Trimmed Mean	80,4568		
		Median	80,0000		
		Variance	64,611		
		Std. Deviation	8,03810		
		Minimum	64,00		
		Maximum	90,00		
		Range	26,00		
		Interquartile Range	11,50		
		Skewness	-,710	,717	
		Kurtosis	1,065	1,400	
			MP2K3	Mean	70,1111
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound			66,2785	
	Upper Bound			73,9438	
5% Trimmed Mean	70,4568				
Median	72,0000				
Variance	24,861				
Std. Deviation	4,98609				
Minimum	60,00				
Maximum	74,00				
Range	14,00				
Interquartile Range	8,00				
Skewness	-1,275			,717	
Kurtosis	,633			1,400	

### Tests of Normality

	Pozicija	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
rezultāts	MP1K3	,151	9	,200*	,932	9	,498
	MP2K3	,314	9	,011	,804	9	,022

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

### Mann-Whitney Test

#### Ranks

	Pozicija	N	Mean Rank	Sum of Ranks
rezultāts	MP1K3	9	13,11	118,00
	MP2K3	9	5,89	53,00
	Total	18		

#### Test Statistics<sup>a</sup>

	rezultāts
Mann-Whitney U	8,000
Wilcoxon W	53,000
Z	-2,879
Asymp. Sig. (2-tailed)	,004
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,003 <sup>b</sup>

a. Grouping Variable: Pozicija

b. Not corrected for ties.



**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.