

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte  
Lietišķo datorzinātņu institūts

**Raita ROLLANDE**

Doktora studiju programmas „Datorsistēmas” doktorante

**INDIVIDUALIZĒTAS STUDIJU PLĀNOŠANAS KĀ PEDAGOGISKĀ  
MODUĻA SASTĀVDAĻAS IZPĒTE UN REALIZĀCIJA**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskais vadītājs  
Dr. habil. sc. ing., profesors  
**J. GRUNDSPENĶIS**

**Rīga 2015**

Rollande R. Individualizētas studiju plānošanas  
kā pedagoģiskā moduļa sastāvdaļas izpēte  
un realizācija. Promocijas darba kopsavilkums.—  
R.: RTU, 2015.— 46 lpp.

Iespiests saskaņā ar DITF LDI padomes  
2014. gada 17. decembra lēmumu, protokols  
Nr. 12300-4.1/4.

**PROMOCIJAS DARBS  
IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU  
DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ  
UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2015. gada 18. maijā Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātē, Meža ielā 1/3, 202. auditorijā.

**OFICIĀLIE RECENZENTI**

Profesors, Dr. sc. ing. Uldis Sukovskis  
Rīgas Tehniskā universitāte

Profesors, Dr. sc. comp. Māris Vītiņš  
Latvijas Universitāte

Asoc. prof., PhD Dalia Baziuke  
Klaipēdas Universitāte, Lietuva

**APSTIPRINĀJUMS**

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

Raita Rollande .....(paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 22 pielikumus, 92 attēlus un 8 tabulas pamattekstā, kopā 195 lappuses. Literatūras sarakstā ir 173 nosaukumi.

# SATURS

Ievads.....	5
1. Datorizētie mācīšanās līdzekļi un intelektuālās mācību sistēmas.....	11
1.1. Mācību sistēmu evolūcija .....	12
1.2. Intelektuālu mācību sistēmu arhitektūras .....	13
1.3. Pedagoģiskā moduļa raksturojums .....	15
1.4. Kopsavilkums un secinājumi .....	15
2. Intelektuālas mācību sistēmas studiju plāna un studiju kursu izstrādei.....	16
2.1. Intelektuālas mācību sistēmas studiju kursu realizēšanai .....	16
2.2. Intelektuālas mācību sistēmas individualizētu studiju plānu izstrādei .....	18
2.3. Apskatīto studiju kursu un studiju plānu realizācijā izmantoto mācību sistēmu kopēja analīze .....	19
2.4. Kopsavilkums un secinājumi .....	21
3. Individualizētu studiju plānošanas ietvars mācību sistēmas pedagoģiskā moduļa realizācijai.....	21
3.1. Individualizētu studiju plānošanas ietvars .....	21
3.1.1. Studiju plāna struktūras apraksts .....	23
3.1.2. Studiju kursa struktūras apraksts .....	23
3.1.3. Kursa tēmu konceptu karte .....	24
3.1.4. Mācību objektu grafs .....	25
3.2. Grafu struktūras analīze .....	26
3.3. Grafu vizualizācijas algoritmi.....	28
3.4. Kopsavilkums un secinājumi .....	29
4. Individualizētu studiju plānošanas sistēmas realizācija.....	30
4.1. Individualizētu studiju plānošanas sistēmas prototips.....	30
4.1.1. Datu ievades rīks <i>SPS.DataManager</i> .....	30
4.1.2. Individualizētu studiju plānošanas rīks <i>SPS.StudentStudyprogramBuilder</i> .....	32
4.1.3. Individualizētu studiju plānošanas sistēmas prototipa aprobācijas scenāriji....	34
4.2. Rangu aprēķināšanas realizācija individualizētu studiju plānošanas sistēmā SPS..	36
4.3. Individualizētu studiju plānošanas sistēmas integrācijas iespējas ar citām mācību sistēmām .....	37
4.4. Kopsavilkums un secinājumi .....	39
Galvenie rezultāti un secinājumi .....	40
Literatūras saraksts .....	42

## IEVADS

Daudzi cilvēki tiecas pēc labākas augstākās izglītības, kvalifikācijas paaugstināšanas vai vēlas papildināt savas zināšanas. Ne visiem cilvēkiem, kuri vēlas kaut ko iemācīties, ir iespējams apmeklēt augstākās izglītības mācību iestādes un, izvēloties kādu no mācību formām, iegūt zināšanas. Ir dažādas studiju formas: klātienē, vakara, neklātienē un tālmācības jeb e-studijas. Vispopulārākais studiju veids Latvijā ir klātienē studijas [1], bet ne katrs var salāgot savu dienas plānu ar klātienē studiju grafiku. Studiju organizēšanā aizvien plašāk izmanto dažādas informācijas un komunikācijas tehnoloģijās (IKT) sakņotas sistēmas, no kurām pilnīgākās ir intelektuālās mācību sistēmas [2, 3]. Tās ļauj pielāgot studijas apmācāmajam, tādējādi padarot studijas daudz pieejamākas.

### **Tēmas aktualitāte**

Pētījuma ietvaros veikta Latvijas un Eiropas Komisijas izglītības plānošanas dokumentu analīze. Tā kā Somijas izglītības sistēma pēc izglītības firmas „Pearson” pētījumiem ir atzīta par vislabāko pasaulē [4], tad ir lietderīgi analizēt arī Somijas plānošanas dokumentus. No analizētajiem dokumentiem var secināt, ka tajos ir minēta ne tikai izglītības nozīmība sabiedrībai, bet arī tās pieejamība un tehnoloģiju izmantošana. Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģijā līdz 2030. gadam [5] kā trešā prioritāte ir minēta paradigmas maiņa izglītībā, kuras mērķis ir izveidot vienu no labākajām izglītības sistēmām Eiropas Savienībā un kļūt par vienu no līderēm pieaugušo izglītībā. Kā viens no trešās prioritātes attīstības virzieniem ir minēta kvalitatīva un pieejama izglītība mūža garumā, un kā divi no vairākiem rīcības virzieniem mērķa sasniegšanai ir atzīmēti e-skola un informācijas tehnoloģiju izmantošana, un izglītošanās mūža garumā.

Eiropas Savienības (ES) 2011. gada ziņojumā aicināts sekmēt to, ka mācīšanās un zināšanu apguvē tiek pieņemtas uz studentu orientētas pieejas, ņemot vērā viņa vajadzības, kā arī aicināts veicināt lielāku studiju formu daudzveidību, tostarp efektīvi izmantojot IKT [6].

ES 2013. gada ziņojumā ir noteikts optimizēt uz IKT pamatotu mācīšanos un piekļuvi kvalitatīviem, atvērtiem izglītības resursiem, piemēram, atbalstot uz IKT pamatotu mācīšanas un novērtēšanas praksi, veicinot digitālā satura lietotāju un veidotāju tiesību un pienākumu pārredzamību un palīdzot izglītības un mācību iestādēm pielāgoties atvērto izglītības resursu izplatībai, īpaši attiecībā uz kvalitātes nodrošināšanu un uzraudzību [7].

Vēl viens vidēja termiņa politikas plānošanas dokuments saistībā ar izglītības kvalitātes paaugstināšanu, un IKT izmantošanu izglītībā Latvijā ir programmas “Informācijas un komunikācijas tehnoloģijas izglītības kvalitātei” 2007.–2013. gadam [8] īstenošana, kur teikts, ka IKT mērķtiecīga lietošana ir viens no aktuālajiem instrumentiem izglītības kvalitātes paaugstināšanai. Viens no programmas apakšmērķiem ir *„izmantot informācijas un komunikācijas tehnoloģijas mācību procesā, izstrādājot elektroniskos mācību materiālus,*

*pilnveidojot izglītības programmas saturu, piedāvājot un izmantojot dažādus pakalpojumus izglītības kvalitātes paaugstināšanai”.*

Somijas Izglītības un kultūras ministrija 2012. gada plānošanas dokumentā kā vienu no prioritātēm izglītības satura uzlabošanā atzīmē mācību vides izstrādi, izmantojot IKT. Savukārt kā profesionālajā tālākizglītībā nepieciešamas izmaiņas dokuments atzīmē vajadzību apmierināt dažādu izglītojamo vajadzības, dažādas mācību vides un IKT izmantošanu [9]. Tātad arī Somijas plānošanas dokumentā uzsvērta dažādu apmācāmo izglītošanās vajadzību apmierināšanas nepieciešamība un mācību vides izstrāde, izmantojot IKT.

Tā kā prasības pret izglītību nākotnē tikai pieaugs, no apskatītajiem plānošanas dokumentiem izkristalizējas atziņa, ka apmācāmajam vajag nodrošināt lielāku studiju formu daudzveidību un individualizētāku mācīšanos, lai apmierinātu nepieciešamību pēc jaunām kompetencēm un prasmēm. Klātienē mācību formas ne vienmēr atbilst apmācāmā prasībām, jo viņam/viņai ir individuālas prasības un intereses pret mācīšanos, kā arī spējas, priekšzināšanas, mācīšanās stils, un bez tam apmācāmais bieži mācās paralēli darbam. Liela nozīme ir IKT izmantošanai mācību procesā, kas piedāvā elektroniskus mācību materiālus. IKT var izmantot kā papildu rīkus nodarbības organizēšanā, mācību materiālu izstrādē, zināšanu vērtēšanā, komunikācijā u. tml. IKT ļauj mācību procesu padarīt daudz pievilcīgāku un interesantāku, kā arī atbilstošāku 21. gs. prasībām [10]. IKT pielietošanu mācībās un elektronisko materiālu glabāšanā nodrošina datorizētās mācīšanās sistēmas, kas piedāvā apmācāmajam mācīties vidē, kas nav atkarīga no laika un telpas. Tomēr jāatzīmē, ka datorizētās mācīšanās sistēmas nenodrošina individuālu pieeju. Līdz ar to ir nepieciešamība pēc tādas mācīšanās sistēmas, kas realizē individualizētu mācīšanos, un tā sākas ar individuāla studiju plāna izstrādi atbilstoši apmācāmā vēlmēm un vajadzībai. Individualizētu mācīšanos var realizēt divos veidos: pasniedzējam individuāli sadarbojoties ar apmācāmo vai arī izstrādājot intelektuālu mācību sistēmu.

### **Promocijas darba mērķis**

Promocijas darba mērķis ir piedāvāt individualizētas studiju plānošanas ietvaru, lai apmācāmais ne tikai varētu konstruēt savu individuālo mācību scenāriju, bet arī noteikt nozīmīgākos kursus, tēmas un tām atbilstošos konceptus, kā arī ietvaru praktiski realizēt kā individualizētas studiju plānošanas sistēmas prototipu un veikt tā pārbaudi.

### **Darba uzdevumi**

Promocijas darba mērķa sasniegšanai ir izvirzīti šādi uzdevumi:

- izanalizēt mācību sistēmu attīstības evolūciju;
- veikt intelektuālu mācību sistēmu (IMS) arhitektūru un pedagoģisko moduļu analīzi, lai noskaidrotu to sastāvdaļas;
- izpētīt eksistējošas individualizētu studiju plānošanas sistēmas, lai noskaidrotu to iespējas un trūkumus;

- izstrādāt individualizētas studiju plānošanas ietvaru, kas ļauj izveidot studiju plānu, definēt studiju kursa struktūru, izveidot studiju kursa tēmu konceptu karti un katrai tēmai izvēlēties mācību objektus, kā IMS pedagoģiskā moduļa sastāvdaļu;
- pārbaudīt struktūrmodelēšanas pieejas iespējas kursu, tēmu un konceptu nozīmības noteikšanā individualizētu studiju plānošanā un noteikt nozīmīgākos kursus, tēmas un konceptus;
- izstrādāt individualizētu studiju plānošanas sistēmas prototipu un veikt tā darbības pārbaudi.

### **Pētījumu objekts**

Promocijas darba pētījumu objekts ir intelektuālās mācību sistēmas.

### **Pētījumu priekšmets**

Promocijas darba pētījumu priekšmets ir individualizēta studiju plānošanas pieeja, tās ietvara struktūras analīze, nosakot nozīmīgos elementus, un izstrādātā risinājuma realizācijas iespēja.

### **Pētījumu metodes**

Promocijas darba teorētiskās daļas izstrādē izmantotās zinātniskās metodes ir literatūras analīze, grafu teorija un struktūrmodelēšana, bet praktiskās daļas izstrādē — programmatūras inženierijas metodes.

### **Darba zinātniskais jaunieguvums ir šāds:**

- izstrādāta un aprakstīta pieeja intelektuālās mācību sistēmas pedagoģiskā moduļa sastāvdaļas realizācijai, kas pamatojas uz vienā sistēmā apvienotu četru grafu kopu, un nodrošina kompleksu pieeju individualizētu studiju plānošanai;
- izstrādāts un aprakstīts individualizētu studiju plānošanas ietvars, kurš ir pielietojams augstskolās individualizētu studiju plānošanai parastā mācību formā, pēc apmācāmā dalības mobilitātes programmā, pēc iepriekšējā izglītībā vai profesionālajā pieredzē sasniegtu studiju rezultātu atzišanas, pēc pārnākšanas no citas studiju programmas vai pēc studiju atsākšanas, kā arī mūžizglītībā, konstruējot uz moduļiem balstītus apmācības kursus;
- ir pamatota struktūrmodelēšanas metodes izmantošanas lietderība individualizētu studiju plānošanas ietvara trīs grafu — studiju plāna, studiju kursu un konceptu kartes analīzei, kas atbalsta studiju plāna izstrādi un izmaiņu ieviešanu, un ir piedāvāts jauns risinājums virsotņu strukturālās nozīmības vērtību aprēķināšanai.

### **Pētījumu praktiskā nozīmība**

Pētījuma praktiskā nozīmība ir saistīta ar izstrādāto individualizētas studiju plānošanas ietvaru, kuru ieteikts izmantot, lai:

- izveidotu studiju plānu grafā veidā, piedāvājot šādus variantus:
  - studiju plāna konstruēšanu;

- mācību moduļu konstruēšanu mūžizglītības kursiem;
  - studiju plāna konstruēšanu pēc apmācāmā dalības mobilitātes programmā;
  - studiju plāna konstruēšanu pēc iepriekšējā izglītībā vai profesionālajā pieredzē sasniegtu studiju rezultātu atzīšanas [11, 12];
  - studiju plāna konstruēšanu pēc apmācāmā pārnākšanas no citas augstskolas vai citas studiju programmas.
- aprakstītu studiju kursu struktūras grafa veidā;
  - izveidotu kursa tēmu konceptu kartes;
  - noteiktu kursa tēmām mācību objektus.

Izstrādātā individualizētu studiju plānošanas sistēmas prototipa pielietojums ir aprobēts, izmantojot četrus scenārijus, un ar tā darbību ir iepazinušies pieci eksperti.

#### **Aizstāvamās tēzes:**

- IMS-as pedagoģiskajā modulī ir vajadzīga individualizēta studiju plānošana;
- ir iespējams izmantot kompleksu pieeju individualizētu studiju realizēšanā, kas ietver individualizēta studiju plāna, studiju kursa struktūras, konceptu kartes izveidi un tēmām vai konceptiem atbilstošu mācību objektu izvēli;
- grafs ir uzskatāms un tādēļ piemērots līdzeklis individualizētu studiju plānošanas struktūras, kā arī kursu un tēmu secību attēlošanai, un ir iespējams nodrošināt atbilstošākā grafa attēlojuma veida izvēli;
- atkarībā no studiju plāna konstruēšanas prasībām un nepieciešamības, ko nosaka studiju iespējas, var izvēlēties atbilstošu pielietojumu individualizētu studiju plānošanai;
- ir iespējams izmantot struktūrmodelēšanas metodes, lai noteiktu elementu nozīmību studiju plāna, kursu un konceptu struktūrās, kas ļauj pieņemt lēmumus par izmaiņām tajās gan apmācāmajam, gan iestādes administratīvajam darbiniekam, kā arī ļauj identificēt noteikti apgūstamos kursus, tēmas un konceptus;
- ir iespējams izveidot individualizētu mācību scenāriju, kas ļaus apmācāmajiem pieņemt pārdomātus lēmumus par mācību individualizāciju ne tikai augstskolā, bet mācoties dažādos posmos visas dzīves garumā, pamatojoties uz individualizētu studiju plāna izveidi, kursa tēmu apguvi, konceptu apguvi un mācību objektu izvēli.

#### **Darba aprobācija**

Par promocijas darba galvenajiem rezultātiem ir nolasīti seši referāti starptautiskās zinātniskās konferencēs:

- Rollande, R. Using graph for tutor module construction of intelligent tutoring system. 4<sup>th</sup> International Conference: Information Society and Modern Business, The Role of Regional Centers in Business Development, May 14–16, 2009, Ventspils, Latvia.

- Rollande, R. Using graph for tutor module construction of intelligent tutoring system for individual learning. Riga Technical university 50<sup>th</sup> International scientific conference, October 14–16, 2009, Riga, Latvia.
- Grundspenkis, J., Rollande, R. Graph based framework for personalization of education process realized by the tutoring module of intelligent tutoring system. International Conference: Perspectives in Business Informatics Research, 2<sup>nd</sup> International Workshop on Intelligent Educational Systems and Technology-enhanced Learning (INTEL-EDU 2011), October 6–8, 2011, Riga, Latvia.
- Rollande, R., Grundspenkis, J. Representation of study program as a part of graph based framework for tutoring module of intelligent tutoring system. The Second International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC 2012), July 10–12, 2012, Klaipeda, Lithuania.
- Rollande, R., Grundspenkis, J. Graph based framework and its implemented prototype for personalized study planning. The Second International Conference on E-Learning and E-Technologies in Education (ICEEE2013), September 23–25, 2013, Lodz, Poland.
- Rollande, R., Grundspenkis, J., Mislevics, A. The use of structural modelling methods for analysis of personalized study planning. IEEE Technically Co-Sponsored Science and Information Conference 2014, August 27–29, 2014, London, UK.

Promocijas darba ietvaros veikto pētījumu rezultāti ir atspoguļoti sešās publikācijās starptautiskos zinātniskos izdevumos:

- Rollande, R. Using graph for tutor module construction of intelligent tutoring system. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference „Information Society and Modern Business, The Role of Regional Centers in Business Development”, ISBN 978-9984-648-12-5, pp. 39–48, 2010, Ventspils, Latvia.
- Grundspenkis, J., Rollande, R. Graph based framework for personalization of education process realized by the tutoring module of intelligent tutoring system. Proceeding of the International Conference „Perspectives in Business Informatics Research”, 2<sup>nd</sup> International Workshop on Intelligent Educational Systems and Technology-enhanced Learning (INTEL-EDU 2011), ISBN 978-9984-30-197-6, pp. 216–225, 2011, Riga, Latvia.
- Rollande, R., Grundspenkis, J. Representation of study program as a part of graph based framework for tutoring module of intelligent tutoring system. Proceedings of the Second International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC 2012), ISBN: 978-1-4673-1106-9, pp. 108–113, Klaipeda, Lithuania. Citation indexed: Scopus, IEEE Xplore, Google Scholar, ISI Proceedings.
- Rollande, R., Grundspenkis, J. Graph based framework and its implemented prototype for personalized study planning. Proceedings of the Second International Conference

on E-Learning and E-Technologies in Education (ICEEE2013), ISBN: 978-1-4673-5093-8, pp. 137–142, 2013, Lodz, Poland. Citation indexed: Scopus, IEEE Xplore, Google Scholar.

- Rollande, R., Grundspenkis, J., Mislevics, A. The use of structural modelling methods for analysis of personalized study planning. IEEE Technically Co-Sponsored Science and Information Conference 2014 (SAI), ISBN: 978-0-9893193-1-7, pp. 921–926, 2014, London, UK. Citation indexed: Scopus, IEEE Xplore.
- Rollande, R., Grundspenkis, J., Mislevics, A. New Approach of Using Structural Modelling for Personalized Study Planning, Article Published in International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), Special Issue on Extended Papers from Science and Information Conference 2014, pp. 104–113, 2014. Citation indexed: Directory of Open Access Journals (DOAJ), Ex Libris, Serials Solutions, Index Copernicus (IC), Google Scholar, Microsoft Academic Search, GetCITED, CiteSeerx, ArXiv, EBSCOhost, WorldCat, Bielefeld University Library, Ulrichsweb™.

### **Darba struktūra**

Promocijas darbs sastāv no ievada, 4 nodaļām, iegūto rezultātu apraksta un secinājumiem, un izmantotās literatūras saraksta.

Ievadā ir pamatota veikto pētījumu aktualitāte, formulēts darba mērķis un uzdevumi, uzskaitītas promocijas darba izstrādē lietotās zinātniskās metodes, aprakstīta pētījumu zinātniskā novitāte un iegūto rezultātu praktiskā nozīmība, kā arī ir raksturota darba aprobācija.

Promocijas darba 1. nodaļa ir veltīta mācību sistēmu attīstībai no vēsturiskā aspekta. Apskatīta intelektuālu mācību sistēmu arhitektūra un tās pedagoģiskais modulis.

Promocijas darba 2. nodaļā ir apskatītas eksistējošās intelektuālas mācību sistēmas studiju plānu un studiju kursu izstrādei.

Promocijas darba 3. nodaļā ir galvenie teorētiskie rezultāti — individualizētas studiju plānošanas ietvars kā intelektuālās mācību sistēmas pedagoģiskā moduļa sastāvdaļa, kas pamatojas uz savstarpēji saistītu četru grafu kopu. Šajā nodaļā ir arī aprakstīta struktūrmodelēšanas pieeja individualizētu studiju plānošanas ietvara struktūras analīzei, grafu vizualizācijas algoritmi, individualizētu studiju plānošanas ietvara funkcijas un datu bāzes arhitektūra.

Promocijas darba 4. nodaļa apraksta individualizētas studiju plānošanas sistēmas prototipu, kas ļauj konstruēt individuālu studiju plānu, noteikt studiju kursa struktūru, aprakstīt tēmu mācību objektus, kā arī analizē studiju plāna, studiju kursu un konceptu kartes elementu nozīmību, izmantojot struktūrmodelēšanas pieeju. Šajā nodaļā ir aprakstīti individualizētu studiju plānošanas sistēmas prototipa aprobācijas scenāriji un individualizētu studiju plānošanas sistēmas integrācijas iespējas ar citām mācību sistēmām.

Promocijas darba rezultāti un secinājumi ir apkopoti darba nobeigumā.

# 1. DATORIZĒTIE MĀCĪŠANĀS LĪDZEKĻI UN INTELEKTUĀLĀS MĀCĪBU SISTĒMAS

Latvijas Republikas Ekonomikas ministrijas Informatīvajā ziņojumā par darba tirgus vidēja un ilgtermiņa prognozēm apgalvots, ka darbaspēka ar augstāko izglītību pieprasījums dabas zinātnēs, matemātikā un informācijas tehnoloģijās, kā arī inženierzinātnēs, ražošanā un būvniecībā arī 2020. gadā un 2030. gadā pārsniegs piedāvājumu [13]. Lai piesaistītu studentus šīm tehnoloģiju ietilpīgām nozarēm, var veikt budžetu vietu pārdalījumu, tomēr tas pilnībā neatrisinās problēmu, jo šajās nozarēs ir liels atskaitīto studentu skaits. Līdz ar to studentiem ir nepieciešama individualizēta pieeja, lai apmācāmiem palīdzētu iekļauties studiju programmās, kompensējot trūkstošās zināšanas. Lai individualizētu mācības procesu, var izmantot apmācāmā individuālu sadarbību ar pasniedzēju vai intelektuālas mācību sistēmas.

Mācīšanos var realizēt ar pasniedzēja fizisku līdzdalību vai bez pasniedzēja klātbūtnes. Ņemot vērā mūsdienu tehnoloģiju straujās attīstības tendences, mācību process ir jāpadara daudz atraktīvāks atbilstoši mūsdienu apmācāmā uztverei, vairāk jāiesaista tehnoloģijas mācību procesā. IKT rosināja tehnoloģiju atbalstītas mācīšanās rašanos. Tehnoloģiju atbalstītas mācīšanās procesā izmanto IKT, lai atbalstītu mācīšanu un mācīšanos, un kompetences attīstību visa mūža garumā [14]. Tomēr neviena no tehnoloģijām nespēj mācību procesā pilnībā aizstāt pasniedzēju. Lai padarītu mācību procesu elastīgāku, pilnvērtīgāku, efektīvāku, individuālāku, pievilcīgāku un saistošāku apmācāmajam, nezaudējot pasniedzēja klātbūtnes efektu mācību procesā, risinājums ir IMS-as [2, 15, 3, 16, 17].

IMS-as priekšrocības salīdzinājumā ar tradicionālo mācību formu un tehnoloģiju atbalstītu mācīšanos ir:

- iespējams izmantot papildus metodes dažādās mācību formās, lai apmācāmajam padarītu mācīšanās procesu pievilcīgāku;
- mācīšanās procesā ir nodrošināta individuāla sadarbība starp apmācāmo un virtuālās mācību vides skolotāju [18];
- IMS adaptējas atbilstoši apmācāmā vajadzībām [19, 20];
- katrs apmācāmais var mācīties savā mācīšanās tempā;
- apmācāmais var izvēlēties sev atbilstošu mācīšanās stilu [21, 22, 23, 24];
- IMS atbalsta pielāgošanos apmācāmā vajadzībām [19, 25, 26];
- IMS automatizē apmācāmā zināšanu vērtēšanu [27, 28];
- IMS atbalsta individualizētu mācību principus, pielāgojot mācību procesu katra apmācāmā zināšanu un prasmju līmenim [29].

Nākamajā apakšnodaļā ir izklāstīta mācību sistēmu evolūcija, lai raksturotu to attīstību un to funkcionālās iespējas.

## 1.1. Mācību sistēmu evolūcija

Mācību sistēmu rašanos sekmēja pieprasījums pēc individualizētas apmācības, ko paātrināja personālo datoru un citu IKT straujā attīstība. Dažādos literatūras avotos var atrast atšķirīgas interpretācijas par mācību sistēmu pirmsākumiem. Neliels sajukums vērojams arī terminos. Mācību sistēmu evolūciju raksturo: programmēta mācīšanās — PM (angļu val. *Programmed learning*) [30, 31], programmēta instruēšana — PI (angļu val. *Programmed instruction*) [30, 32, 31], lineārā programmēšana — LP (angļu val. *Linear Programming*) [30, 2, 32, 31], zarošanās programmēšana — ZP (angļu val. *Branching Programming*) [30, 2, 32, 31], adaptīvā programmēšana — AP (angļu val. *Adaptive Programming*) [30, 33, 34, 35], reproducējošā programmēšana — RP (angļu val. *Generative Programming*) [30, 2, 15, 36], datorizētas mācīšanās — DM (angļu val. *Computer Assisted Instruction/Computer Assisted Learning*) [2], intelektuālas mācību sistēmas — IMS (angļu val. *Intelligent Tutoring Systems*) [2, 37, 38, 16].

Mūsdienās biežāk sastopamie termini saistībā ar mācīšanās sistēmām ir datorizētas mācīšanas sistēmas un intelektuālas mācību sistēmas.

**Datorizētas mācīšanas sistēmas (DMS).** Tās ir paredzētas mācību organizēšanai. DMS ir interaktīvas un adaptējas apmācāmajam. Kā minēts darbā [2], ņemot vērā DMS trūkumus, J. Selfs (J. A. Self) savā darbā [39] apgalvoja, ka datorizētai mācību programmai jānosaka, kam tiek mācīts, kā tiek mācīts un kas tiek mācīts, un to mēģina ietvert intelektuālas mācību sistēmas (IMS).

**Intelektuālās mācību sistēmas** (angļu val. *Intelligent Tutoring Systems*) [2, 37, 38, 16]. Pirmie darbi par IMS-ām parādījās 1950-to gadu beigās un 1960-to gadu sākumā. Pirmie IMS-u ideju autori bija A. Tjūrings (A. Turing), M. Minskis (Marvin Minsky), Dž. Makkartijs (J. McCarthy) un A. Ņuels (A. Newell), kuri ticēja, ka dators varētu domāt līdzīgi cilvēkam [15]. 1973. gadā J. R. Hartlijs (J. R. Hartley) un D. H. Slīmans (D. H. Sleeman) prezentēja sākotnējās IMS-as prasības un vienojās, ka IMS-ai jāapstrādā [17]:

- 1) zināšanas par problēmvidi (eksperta modelis);
- 2) zināšanas par apmācāmo (studenta modelis);
- 3) zināšanas par mācību stratēģiju (pedagoģiskais modelis).

Šie modeļi tiek izmantoti atbilstošajos moduļos, kas realizē IMS arhitektūru.

1982. gadā D. H. Slīmans (D. H. Sleeman) un J. S. Brauns (J. S. Brown) [40] pirmie ieviesa jēdzienu IMS, lai aprakstītu mācību sistēmu attīstību un nodalītu tās no DMS-ām.

Analizējot mācību sistēmu evolūciju un izglītības sfēras plānošanas dokumentus, darba autore secina, ka mācību sistēmu attīstība virzās uz individualizētu mācību procesu. Individualizētas mācīšanās jautājumu risinājumus var izprast, aplūkojot IMS-u uzbūves principus, kas aprakstīti nākamajā apakšnodaļā.

## 1.2. Intelektuālu mācību sistēmu arhitektūras

Šajā apakšnodaļā ir aprakstīti IMS-u uzbūves principi. Kā atzīmēts darbā [17], 1973. gadā J. R. Hartlijs (J. R. Hartley) un D. H. Sīmans (D. H. Seeman) formulēja, ka IMS pamatā ietver eksperta moduli, studenta moduli un pedagoģisko moduli.

**Eksperta modulis.** Glabā informāciju par mācību saturu. Eksperta modulis sadarbojas ar pedagoģisko moduli, lai pieņemtu lēmumu par mācību satura izvadīšanu. Lai veiktu minētās darbības, modulis glabā zināšanas par problēmvidi jeb tā saucamo eksperta modeli.

**Studenta modulis.** Tas ir atbildīgs par mācīšanās metodes pielāgošanu apmācāmajam [18]. Lai pieņemtu lēmumu par pareizo mācīšanās metodi, IMS-ai jānovērtē apmācāmā spējas un viņa uzvedības īpašības, mācīšanās rezultāti. Ir ļoti svarīgi novērtēt arī apmācāmā zināšanu trūkumu. Studenta modulī jāglabā apmācāmā kognitīvais stāvoklis, viņa mācīšanās spējas, mērķi utt., kas kopā veido zināšanas par apmācāmo jeb tā saucamo studenta modeli.

**Pedagoģiskais modulis.** Pedagoģiskais modulis kontrolē un vada mācību procesu. Tas sadarbojas ar pārējiem moduļiem un plāno mācību stratēģijas individuāli katram apmācāmajam [18]. Pedagoģiskais modulis kopā ar studenta moduli atbild uz jautājumu, kā mācīt. Viens no svarīgākajiem pedagoģiskā moduļa uzdevumiem ir studiju plāna un kursu secīga plānošana jeb mācību stratēģijas plānošana.

Apskatot dažādu autoru aprakstītās IMS-u arhitektūras, var sastapties ar atšķirīgiem terminu skaidrojumiem. Šī promocijas darba ietvaros modeļa un moduļa jēdzieni tiek skaidroti šādi:

- 1) Modelis ir vienkāršots sistēmas vai funkcijas attēlojums, kas apraksta kā sistēma darbojas un kā tā ir uzbūvēta.
- 2) Modulis ir sistēmas sastāvdaļa, kas izpilda dažādas funkcijas un sadarbojas ar citām sistēmas komponentēm. Modelis var būt moduļa pamatā.

Mūsdienu IMS-as pamatarhitektūrā joprojām ir ietverti trīs moduļi un šādas arhitektūras tiek sauktas par trīs moduļu arhitektūrām. Analizējot literatūru tiek secināts, ka ir piedāvātas dažādas IMS-u arhitektūras. Kā atzīmēts darbā [41], 1988. gadā S. J. Derijs (S. J. Derry), L. W. Havkes (L. W. Hawkes) un U. Zīgels (U. Ziegel) piedāvāja **trīs moduļu arhitektūru**: pedagoģiskais modulis (angļu val. *tutor module*), problēmvides eksperta modulis (angļu val. *expert domain module*) un studenta zināšanu modulis (angļu val. *student knowledge module*). Savukārt, 1998. gadā J. Sīmers (J. Siemer) un M. C. Angelides (M. C. Angelides) piedāvāja **trīs moduļu struktūru**, kur kā galvenais moduļu sadarbības elements ir vispārējā kontroles sistēma [41]. Pamatmoduļi ir līdzīgi kā iepriekš aprakstītajā sistēmā. Jaunākie pētījumi identificēja un trijiem moduļiem papildus pievienoja **ceturto moduli** — lietotāja saskarnes moduli [2, 18, 42, 17, 43], kas kontrolē sadarbību starp apmācāmo un IMS-u [2]. Izpētot dažādu zinātnieku darbus, arī četru moduļu arhitektūrā ir pamanāmas atšķirības. Darbā [44] ir identificētas **piecas IMS-as arhitektūras komponentes**, no kurām četras ir iepriekš

aprakstītās, bet piektā komponente ir eksperta modulis (angļu val. *the expert module*). Eksperta modulis ir līdzīgs problēmvides zināšanu modulim ar to, ka tam jāietver informācija, kas jāizmanto, lai mācītu. Eksperta modulis var salīdzināt apmācāmā zināšanas ar eksperta zināšanām un noteikt apmācāmā zināšanu trūkumus.

Salīdzinot šajā sadaļā aprakstītās trīs, četru un piecu moduļu arhitektūras, ir jāsecina, ka piemērotāka ir četru moduļu arhitektūra, kas ietver trīs IMS-as pamatarhitektūras moduļus, savukārt ceturtais modulis — lietotāja saskarnes modulis — ir kā kvalitatīvs papildinājums, kas pilnveido IMS-as arhitektūru. Piektais modulis — problēmsfēras zināšanu modulis — trīs un četru moduļu arhitektūrās ir iekļauts eksperta modulī. Līdz ar to šo moduli nevar uzskatīt par būtiski jaunu papildinājumu.

IMS-ā apmācāmais mācās, risinot problēmas [17]. Sistēmas darbība sākas ar apmācāmā esošo zināšanu novērtēšanu, ko veic studenta modulis. Saskaņā ar mācību materiālu sistēma pieņem lēmumu, kas apmācāmajam jāzina, kurš mācību materiāla elements jāpiedāvā tagad un kurš pēc tam, un kā to visu pasniegt. Šo lēmumu palīdz pieņemt pedagoģiskais modulis. Tas nozīmē, ka pati sistēma pieņem lēmumu, kā mācīt. Ņemot vērā šos apsvērumus, sistēma izstrādā problēmas aprakstu. IMS salīdzina apmācāmā risinājumu ar datora risinājumu un veic diagnosticēšanu, ņemot vērā atšķirības starp abiem risinājumiem. Sistēma sniedz atgriezenisko saiti, ņemot vērā faktu, kad pēdējo reizi tika nodrošināta atgriezeniskā saite, vai apmācāmais jau ir saņēmis kādu padomu u. tml. Pēc atgriezeniskās saites izveidošanas programma atjauno informāciju par apmācāmā prasmēm (ieraksta informāciju par to, ko apmācāmais apguvis vai nav apguvis) studenta modelī un palielina mācību progresa rādītājus. Rādītāju atjaunošanu veic studenta modulis. Tālāk cikls atkārtojas ar jaunas problēmas ģenerēšanu [17].

IMS-as darbības modelis ir efektīvāks par DMS-as darbības modeli tādēļ, ka tas glabā informāciju par apmācāmo un to, kā viņu mācīt, un tādēļ ir daudz piemērotāks apmācāmā individuālajām vajadzībām.

Mūsdienās IMS-as attīstās aizvien straujāk. Tas prasa jaunu risinājumu izmantošanu, starp kuriem pašlaik dominē aģentu un daudzāģentu pieejas lietošanu IMS-ās [45, 46, 38, 47, 48, 49, 29]. Katru no IMS-as moduļiem, kuri veido 3, 4 vai 5 moduļu arhitektūru, var realizēt ar aģentiem vai aģentu kopu [29]. Katru moduļa funkciju var aprakstīt kā aģentu. Sistēmas var ietvert vairākus aģentus, un tādu sistēmu sauc par daudzāģentu sistēmu [45]. Tādu sistēmu, kas sastāv no vairākiem aģentiem, ir vieglāk izstrādāt, nekā sistēmu kā vienu veselumu. Turklāt aģentus sistēmā var vienkārši pievienot, dzēst vai mainīt. Tāpēc pēdējā laikā ir radītas daudzas uz aģentiem pamatotas IMS-as. Promocijas darbā tiek izmantota sistēma IKAS (angļu val. *intelligent knowledge assessment system*), kurā ir realizēta intelektuālu aģentu pieeja. IKAS ir uz konceptu kartēm balstīta zināšanu vērtēšanas sistēma, kas novērtē apmācāmā zināšanas, salīdzinot viņa/viņas konstruēto konceptu karti ar pasniedzēja veidoto [48]. Vairāk par IKAS rakstīts 4.3.1. sadaļā.

Visu IMS-u arhitektūrās ir ietverts pedagoģiskais modulis, kam jānodrošina studiju plānošana (tai skaitā arī individualizācija). Tātad individualizētu studiju plānošana ir IMS-as pedagoģiskā moduļa sastāvdaļa. Lai to realizētu, nepieciešams izpētīt pedagoģisko moduli.

### 1.3. Pedagoģiskā moduļa raksturojums

IMS-as pedagoģiskais modulis ir jāatbild uz jautājumu kā mācīt un jāļauj plānot mācības individuāli katra apmācāmā vajadzībām. Pedagoģiskā moduļa darbības raksturojums:

- kontrole pār visu **studiju plānu**, lai atlasītu un secīgi sakārtotu mācību kursus [44, 50]. Studiju programmas apraksts glabājas problēmvides modulī [51].
- **tēmas** izvadīšana apmācāmajam. Sistēma piemēro tēmu individuāli katra apmācāmā vajadzībām [16, 52, 53]. Tēmas glabājas problēmvides modulī [51].
- **mācību satura izvadīšana**. Katras tēmas mācību saturu var sadalīt mazākās vienībās (konceptos) [51], attēlot to vairākos veidos (prezentācijas, audio, video u. tml.) [53] un secībā [54, 55]. Automatizēta mācību satura veida izvēlēšanās ir saistīta ar studenta mācību stilu [21]. Savukārt mācību satura secības izvadīšana ir atkarīga no problēmvides modulī aprakstītā mācību satura un studenta priekšzināšanās, kas glabājas studenta modulī.
- **mācīšanās stratēģijas** izvēle. Mācīšanās stratēģija nosaka veidu, kā tiks sasniegti mācību mērķi, kādā veidā izvadītas tēmas, kā tiks vērtētas zināšanas un kā tiks uzraudzīts mācību process.
- **problēmas ģenerēšana**. Pēc tēmas izvēles jāģenerē problēma, kas apmācāmajam ir jāatrisina [16].
- **atgriezeniskā saite**. Sistēmai ir jānosaka, kāda veida atgriezeniskā saite apmācāmajam ir nepieciešama [16, 51].
- apmācāmo **zināšanu novērtēšana**. Apmācāmā zināšanas tiek novērtētas atbilstoši mācību mērķiem, un vērtējums tiek saglabāts studentu modulī. Atkarībā no apmācāmā zināšanu novērtēšanas rezultātiem var veikt izmaiņas kursa apgūvē [51].

Pedagoģiskais modulis atbalsta individualizāciju, bet tās realizēšanas pakāpe ir atkarīga no tā, cik lielā mērā apmācāmajam pašam ir iespēja līdzdarboties mācībās.

### 1.4. Kopsavilkums un secinājumi

Galvenie secinājumi ir:

- Analizējot mācību sistēmu evolūciju un izglītības sfēras plānošanas dokumentus, ir secināts, ka mācību sistēmu attīstība virzās uz individualizēto mācību procesu.
- Literatūras apskata rezultātā ir secināts, ka mūsdienās visbiežāk IMS-ās izmanto tieši četru moduļu arhitektūru. Lai gan ir piedāvāta arī trīs un piecu moduļu IMS-as arhitektūra, tomēr IMS-as pamatfunkcijas nemainās.

- Secināts, ka, lai nodrošinātu individualizēto mācību procesu, ir jāizmanto pedagoģiskais modulis, kur jāapraksta studiju plānošana individuālām apmācāmā vajadzībām, sākot ar studiju plāna izveidi un beidzot ar mācību objektu izvēli.

Veicot ar darba tēmu saistītu avotu analīzi, ir secināts, ka IMS-as pedagoģiskajā modulī plānošana un individualizācija netiek nodrošināta integrēti, ietverot studiju plāna, studiju kursa struktūras, kursa satura strukturizāciju konceptu līmenī un mācību objektu izvēli.

## **2. INTELEKTUĀLAS MĀCĪBU SISTĒMAS STUDIJU PLĀNA UN STUDIJU KURSU IZSTRĀDEI**

No izglītības jomas plānošanas dokumentu analīzes ir konstatēta nepieciešamība pēc apmācības sistēmas, kas piedāvā individuālu pieeju apmācāmajam. No mācību sistēmu evolūcijas analīzes ir secināts, ka apmācības sistēmu attīstība virzās uz individualizētu mācīšanos. Izanalizējot IMS-as arhitektūru, ir noskaidrots, ka tā ietver pedagoģisko moduli. Promocijas darbā ir izvirzīta tēze, ka pedagoģiskajā modulī ir vajadzīga individualizēta studiju plānošana. Šajā nodaļā ir aprakstītas eksistējošās individualizētu studiju plānošanas sistēmas, lai noskaidrotu to iespējas un trūkumus.

### **2.1. Intelektuālas mācību sistēmas studiju kursu realizēšanai**

Šajā apakšnodaļā ir izvērtētas četras visbiežāk citētās IMS-as, kuras realizē studiju kursu izstrādi.

1. Avotos [18, 56, 57, 58] autori apraksta izstrādāto IMS-u, kas nodrošina adaptīvu mācību vidi, piedāvājot apmācāmajiem individualizētas mācības. Mācību procesa individualizācijas uzdevumu autori risina, izmantojot IMS-as struktūru ar četrām komponentēm: problēmvides moduli, studenta modeli, pedagoģisko moduli un saskarnes moduli. Problēmvides modulis [56, 18] glabā informāciju par studiju kursa struktūru koka veidā, bet kursa tēmu savstarpējā saistība tiek glabāta kursa tēmu atkarību grafā. Studenta modelis [18] ietver studenta profila un apmācāmā stāvokļa attēlojumu. Atkarībā no studenta modeļa datiem pedagoģiskajā modulī tēmas plānotājs pārmeklē tēmu atkarību grafu, lai izvēlētos vispieņemamāko tēmu secību individuāli katram apmācāmajam; mācību materiāla izvēles komponente pēc tēmu plānotāja ieteikuma izvēlas katram apmācāmajam pašu piemērotāko materiālu kopumu atbilstoši izvēlētai tēmai no repozitorija; rezultātu analizētājs apkopo un analizē apmācāmo rezultātus un plāno, kā tos uzlabot.

Šajā sistēmā apmācāmais pats nevar izveidot studiju plānu un izvēlēties apmācības scenāriju, jo sistēma pati pielāgo mācības atbilstoši apmācāmā spējām.

**2. Mācību plāna un kursa veidošanas sistēma CREAM** (angļu val. *Curriculum REpresentation and Acquisition Model*), kas, pamatojoties uz apmācāmā spējām, mācību mērķiem un pedagoģiskiem resursiem, atbalsta mācību mērķu sasniegšanu, ģenerē studiju

kursus un parāda mācību saturu. CREAM ietver trīs modeļus [38, 59, 60, 61]: spēju modeli (CREAM-C), mācību mērķu modeli (CREAM-O) un didaktisko resursu modeli (CREAM-R). Spējas, pēc autoru [59, 60] domām, ir „zināšanu vienība, kas glabājas personas ilgtermiņa atmiņā, kas ļauj viņam/viņai gūt panākumus, īstenojot fiziskās, intelektuālās un profesionālās aktivitātes”. Šie trīs modeļi ir apvienoti mācību plāna zināšanu pāreju tīkla modulī (CKTN). Vēlākos rakstos [38, 60] autori to dēvē par mācību satura pedagoģisko moduli.

Rīks ļauj automātiski ģenerēt mācību plānu un kursus. Kursa veidošanas process sākas ar mērķu vai spēju definēšanu un atbilstošas mācību plāna struktūras pārmeklēšanu, lai iegūtu kursa mērķu aprakstus. Mācību projektētājam jānosaka zināšanas, kuras viņš grib iemācīt, jāpārtrauga process un jāapstiprina vai nav jāapstiprina kursa ģenerēšana. Ir iespējams mainīt gan mācību plānu, gan arī kursu. CREAM neievēro individuālas vēlmes studiju plāna konstruēšanai, jo studiju plāns tiek ģenerēts automātiski. CREAM realizē individualizētu mācīšanos, kas balstīta uz sistēmas pieņemtiem lēmumiem par apgūstamo studiju plānu un kursiem, nevis apmācāmā izdarītu izvēli.

**3. Mācību plāna un kursa veidošanas sistēma — IDE Interpreter** ir 1988. gadā D. M. Rasela (D. M. Russell) radīta un uz plānošanu balstīta adaptīva mācību sistēma, kas automātiski ģenerē mācību kursus. Tā izmanto IDE (angļu val. *Instructional Design Environment*) zināšanu struktūru kā zināšanu avotu mācību kursa ģenerēšanai [62].

IDE Interpreter mācību plāns tāpat kā iepriekšējām divām sistēmām tiek attēlots grafa veidā. Tādējādi vēlreiz tiek apliecināts, ka grafs ir piemērots līdzeklis kursu attēlošanai. IDE Interpreter tāpat kā divās iepriekš apskatītajās, mācību plāns tiek ģenerēts automātiski, un apmācāmajam nav iespējams pašam plānot individualizētas studijas. IDE Interpreter realizē individualizētu mācīšanos, kas balstīta uz stratēģijas un pedagoģijas likumiem, nevis apmācāmā izdarītu izvēli.

**4. Mācību plāna un kursa veidošanas sistēma — Expert CML** [63] piedāvā veikt mācību plāna un studiju kursu izstrādi. Tās darbība ir aprakstīta trijos etapos. Pirmais etaps — **mācību plāna izstrāde** — nozīmē visu mācību plānu, sākot ar studiju programmas vispārīgo mērķu aprakstīšanu līdz lekciju vai moduļu definēšanai, ietverot mācību aktivitātes un novērtēšanas metodes. Otrais etaps — **kursa projektēšana**. Kursa projektēšanas etapi ir šādi: mācību programmas daļas izvēlēšanās iekļaušanai kursā un kursa kartes apskatīšana. Kursa karte attēlo mācību satura objektu: tēmu, apakštēmu vai moduli. Kursa karte ir attēlota UN/VAI koka veidā. Tā neattēlo ceļu, ko apmācāmais var izvēlēties mācībām, bet ierobežojumus, lai apmācāmais varētu progresēt, izvēloties mācību materiālu. Sistēma ļauj lietotājam izvēlēties mācību stratēģiju. Trešais etaps — **novērtēšana**, kad novērtē apmācāmā zināšanu progresu mācību rezultātā. Tas palīdz izstrādātājam novērtēt studiju kursu un studiju saturu, analizējot apmācāmo sasniegumus.

Izvērtējot Expert CML, ir secināts, ka sistēma piedāvā rīku komplektu, kas palīdz izstrādāt, ieviest un pārvaldīt mācību plānu, bet nepiedāvā apmācāmajam pašam to projektēt. Tomēr

sistēma ļauj apmācāmajam veidot mācību saturu. Pēc tam apmācāmajam izvada kursa karti orientēta grafa veidā. Sistēma ietver pilnu studiju struktūras aprakstu, sākot ar vispārīgiem mērķiem un studiju programmu, turpinot ar kursiem, tēmām un apakštēmām. Expert CML neļauj apmācāmajam pašam projektēt individuālas studijas, sākot ar studiju plānu un beidzot ar mācību objektu izvēli. Bez tam neviena no iepriekš apskatītajām sistēmām, nepiedāvā veikt struktūras analīzi, kas promocijas darbā ir viens no izvirzītajiem uzdevumiem.

## 2.2. Intelektuālas mācību sistēmas individualizētu studiju plānu izstrādei

Šajā apakšnodaļā ir aprakstītas dažādas IMS-as, kuras ļauj izveidot individualizētu studiju plānu.

**1. Studiju plāna izstrāde ar CEWebS** (angļu val. *Cooperative Environment Web Services*) platformu, kas paredzēta studiju plāna vizuālai attēlošanai, izmantojot grafu [64, 65]. Studiju plāna vizualizācijai tā piedāvā trīs līmeņus. **Studiju plāna līmenis** attēlo studiju plānu, izmantojot grafu. **Moduļa līmenis** attēlo studiju plāna līmenī izvēlēto studiju kursu un ar to tieši saistītos citus kursus. **Kursa līmenī** kursi ir attēloti Wiki lapās un kursiem ir aprakstīts kursa nosaukums, tips, kredītpunkti, saturs, kursa apgūšanas metodes, novērtēšanas metodes un literatūra.

Sistēma paredzēta tikai pedagogiem un ar to nevar patstāvīgi strādāt apmācāmie. Turklāt sistēmā attēlotais studiju plāns nav maināms. Visiem apmācāmajiem paredzēts tikai viens mācību scenārijs, un nav iespējama studiju plāna individualizācija. CEWebS attēlo studiju plānu, bet nepiedāvā aprakstīt studiju kursa tēmas un mācību objektus.

**2. Studiju plāna vizualizācija ar CurricVis rīku** (angļu val. *Curriculum visualization*) [66, 67]. Tā arhitektūra ietver studiju plānu, kas attēlots orientēta grafa veidā, kur virsotnes apzīmē studiju kursus, bet loki apraksta kursu savstarpējo saistību. Grafu automātiski ģenerē, pamatojoties uz zināšanu bāzē esošo informāciju. CurricVis ir paredzēta apmācāmajiem, kā arī administrācijai, kas ir saistīta ar studiju plāna pārvaldību. CurricVis programmai ir divi pamatskati. **Studiju plāna skatā** ir attēloti studiju plāna kursi. Vizualizējot studiju kursu, apmācāmais skaidri var redzēt ceļus uz vēlamajiem kursiem. Viņš/viņa var redzēt, kādi kursi jāapgūst vispirms, lai varētu apgūt vēlamo kursu. **Progresā skatā** ir parādīta apmācāmā apgūto studiju kursu progresā diagramma, kur var iegūt informāciju par sekmīgi apgūtajiem studiju kursiem, kredītpunktiem un to īpatsvaru no kopējā studiju plāna kredītpunktu apjoma, kas izteikts procentos.

CurricVis rīkam nav interaktīva grafa veidošanas režīma. Tas nozīmē, ka apmācāmais studiju plāna grafā var izvēlēties apgūstamos studiju kursus un programmas piedāvātajā progresā skatā sekot līdzī studiju plāna apguves progresam, bet netiek izveidots viņa izvēlēto kursu studiju plāna grafs vai saraksts. CurricVis pēc studiju kursu izvēles, nepiedāvā nākamās individualizētu studiju soļus — kursu tēmu un mācību objektu atlasī. Līdz ar to tas pilnībā neapmierina visas prasības individuālu studiju plānošanas rīkam.

**3. Studiju plāna vizualizācija ar ViCurriAS [68] rīku.** Ar rīku var darboties fakultātes metodiķi, konsultanti un apmācāmie. Tas ļauj konsultantiem un apmācāmajiem redzēt studiju plāna kursu atkarības un apmācāmā studiju plāna apguves progresu. **Studiju plāna modulis** ir paredzēts studiju plāna izstrādei un modifikācijai. Modulis ļauj fakultātes metodiķiem vai konsultantiem manuāli ievietot kursus studiju plānā un definēt priekšnosacījumu lokus, iegūstot studiju plāna karti. **Konsultēšanas modulis** ļauj augstskolas administrācijas pārstāvim vai pasniedzējam tajā pašā grafā, kas bija izveidots studiju plāna modulī, ievadīt atzīmes vai plānošanas informāciju. Konsultēšanas modulī var redzēt studiju kursa apguves progresu.

ViCurriAS sistēma, tāpat kā divas iepriekšējās sadaļās aprakstītās sistēmas atspoguļo studiju plānu grafa veidā. Sistēma apmācāmajam nepiedāvā pašam dinamiski izveidot studiju plānu, kā arī neparāda studiju kursa tēmas, konceptus un mācību objektus.

**4. Studiju plāna izstrāde, izmantojot studiju rezultātu grafus.** Autors [69] pamato savas sistēmas aktualitāti ar to, ka apmācāmajiem ne vienmēr ir skaidrs priekšstats par viena vai otra kursa apguves nepieciešamību. It īpaši tas ir raksturīgs studiju sākuma posmā, kad ir jāapgūst matemātika, fizika u. c. vispārīzglītojošie inženierzinātņu priekšmeti, jo to nepieciešamību un saistību ar praktisko lietojumu augstskolu apmācāmie nesaskata.

Viens no mērķiem sistēmas izveidē ir sniegt apmācāmajiem lielāku, bet ne absolūtu brīvību studiju plāna izveidē [69]. Darbs ar sistēmu sākas, apmācāmajam izvēloties kompetences saskaņā ar viņa/viņas personīgajām interesēm un mērķiem. Pēc tam tiek noteikts nepieciešamo kursu saraksts, kas konstruēts, izejot no kompetencēs ietvertajiem studiju rezultātiem. Mācību ceļi apmācāmajam parāda, kā katrs kurss atbilst profesionālām kompetencēm. Tāpēc apmācāmais ir ieinteresēts izveidot savu studiju plānu, kas atbilstu viņa interesēm.

Iepazīstoties ar sistēmas piedāvātajām iespējām, promocijas darba autore secina, ka arī šī sistēma, tāpat kā visas iepriekš aprakstītās, tikai daļēji nodrošina individualizētu studiju plānošanu un vispār nepiedāvā veikt struktūras analīzi.

### **2.3. Apskatīto studiju kursu un studiju plānu realizācijā izmantoto mācību sistēmu kopēja analīze**

Ir iespējamas divas alternatīvas studiju procesu individualizēšanā sadarbībā ar lietotāju:

- apmācāmais pats konstruē savu apmācības plānu un nosaka mācīšanās scenāriju;
- sistēma, pamatojoties uz apmācāmā zināšanām, izveido viņam atbilstošu studiju plānu un apmācības scenāriju [64, 66, 68, 69].

Apskatītajās mācību sistēmās studiju plāna un studiju kursa struktūras attēlošanai visbiežāk ir izmantots grafs, jo grafs ir uzskatāms un tādēļ piemērots līdzeklis kursu un tēmu secību attēlošanai. Mainoties virsotņu skaitam, pieaug nozīme grafa attēlošanas veidiem. Neviena no šajā nodaļā apskatītajām sistēmām nepiedāvā elastīgu grafa vizualizāciju, ļaujot izvēlēties

piemērotāko, atkarībā no grafa veida. Lai pārskatāmi varētu attēlot dažāda lieluma grafus, mācību sistēmā ir lietderīgi iebūvēt vairākus atšķirīgus grafa vizualizācijas veidus.

Nepieciešamība pēc individuāla studiju plāna ir ne tikai tiem apmācāmajiem, kas vēlas izveidot savu studiju plānu atbilstoši vēlmēm un mērķiem, bet arī tādos gadījumos, kad apmācāmais ir bijis apmaiņas programmā citā augstskolā vai vēlas turpināt studijas pēc pārnākšanas no citas studiju programmas, vai arī vēlas uzsākt studijas pēc iepriekšējā izglītībā vai profesionālā pieredzē sasniegtu studiju rezultātu pielīdzināšanas kredītpunktiem. Arī iestādēs, kur tiek realizētas mūžizglītības programmas, ir būtiski ļaut apmācāmajiem konstruēt individuālu studiju plānu, kas atbilst viņu profesionālās vai personīgās pilnveides mērķiem. Jāatzīmē, ka šādas iespējas netiek piedāvātas nevienā no apskatītajām sistēmām.

Viena no problēmām, ar kuru apmācāmais var sastapties veidojot savu individuālo studiju plānu ir tā, ka viņš nezina kādu kursu tajā iekļaut, un kuram kursam ir lielāka nozīme studiju programmas mērķu sasniegšanā. Lai palīdzētu apmācāmajam pieņemt lēmumu par studiju plānā iekļaujamiem kursiem, ir nepieciešams veikt studiju plāna struktūras analīzi, lai identificētu nozīmīgākos kursus.

Tā kā esošās individualizētu studiju plānošanas sistēmas apmācāmajam nenodrošina vienas sistēmas ietvaros veidot individualizētu studiju plānu un kursus, tad ir nepieciešami papildinājumi pedagoģiskajā modulī, kas atbalsta individualizētu mācīšanos, ļaujot apmācāmajam izveidot savām vajadzībām piemērotu studiju plānu, apskatīt studiju kursa tēmas un izvēlēties studiju kursa apguves secību, iepazīties ar konceptu saistību un izvēlēties tēmu mācību objektus. No veiktās mācību sistēmu arhitektūras analīzes izriet šādas prasības jaunai arhitektūrai:

- jāizstrādā vienota sistēma, kas ļauj individualizēt studiju procesu, sākot ar studiju plāna izveidi līdz tās apguvei;
- jāapraksta studiju plāns, studiju kursi, tēmas, koncepti un mācību objekti;
- jāietver iespēja apmācāmajam individualizēt studiju procesu, ļaujot izstrādāt individuālu studiju plānu, noteikt kursa apguves secību, izveidot konceptu karti un izvēlēties mācību objektus tēmu un konceptu apgūšanai;
- studiju plāna, studiju kursu, konceptu un mācību objektu struktūra jāattēlo grafa veidā;
- studiju kursiem un kursu tēmām jādefinē priekšnosacījumu loki un ierobežojumi,
- jāpiedāvā studiju plāna konstruēšana mūžizglītības kursiem;
- jānodrošina studiju plāna konstruēšana, ņemot vērā, ka apmācāmais var piedalīties mobilitātes programmā vai studēt pēc pārnākšanas no citas studiju programmas, vai arī pēc kredītpunktu atzīšanas;
- jāpiedāvā vairāki studiju plāna, studiju kursa, konceptu un mācību objekta grafu vizualizēšanas veidi;
- jāiekļauj grafa virsotņu nozīmības noteikšana.

## 2.4. Kopsavilkums un secinājumi

Galvenie secinājumi ir šādi:

- Pašlaik zināmās mācību sistēmas nodrošina studiju plānu un kursu secības konstruēšanu, bet individualizētu studiju plānošana ir jāizprot plašāk un tāpēc nepieciešams pievienot konceptu un mācību objektu individualizāciju.
- Vajag pilnveidot individualizētu studiju īstenošanas sistēmas pedagoģisko moduli tajā iekļaujot studiju plānu, kursu un konceptu struktūras analīzi, lai noteiktu nozīmīgākos elementus (kursus, tēmas un konceptus).
- Ir nepieciešams papildinājums pedagoģiskajam modulim, kas atbalsta individualizētu mācīšanos, ļaujot apmācāmajam izveidot savām vajadzībām piemērotu studiju plānu, apskatīt studiju kursa tēmas un izvēlēties studiju kursa apguves secību, iepazīties ar jēdzienu saistību un izvēlēties tēmu mācību objektus.
- Individualizētu studiju īstenošanas sistēmas pedagoģiskajam modulim jāatbalsta pieeja, kas apmācāmajam ļauj plānot individualizētas studijas ne tikai augstskolā, bet mācoties dažādos posmos visa mūža garumā.
- Apskatītās IMS-ās studiju plāna attēlošanai apstiprina grafa lietošanu, kā piemērotu līdzekli studiju plānu attēlošanai.

Rezultātā ir izvirzītas prasības jaunai arhitektūrai, kuras pedagoģiskais modulis ļauj ne tikai konstruēt studiju plānu, bet arī apraksta studiju kursa struktūru, kursa tēmu konceptu karti un tēmu mācību objektu grafu.

## 3. INDIVIDUALIZĒTU STUDIJU PLĀNOŠANAS IETVARŠ MĀCĪBU SISTĒMAS PEDAGOĢISKĀ MODUĻA REALIZĀCIJAI

### 3.1. Individualizētu studiju plānošanas ietvars

Lai realizētu individualizētu studiju plānošanu no studiju plāna izveides līdz mācību objektu izvēlei, promocijas darbā ir izstrādāts individualizētu studiju plānošanas ietvars, kas pamatojas uz šādu grafu kopu [70]:

- 1) grafu  $G_1(V_1, Q_1)$ , kas ļauj izveidot individuālu studiju plānu;
- 2) grafu  $G_2(V_2, Q_2)$ , kas ļauj noteikt individuālu apgūstamo kursu secību;
- 3) grafu  $G_3(V_3, Q_3)$ , kas ļauj attēlot tēmu saturu, kur katra tēma tiek attēlota ar konceptu kopu;
- 4) grafu  $G_4(V_4, Q_4)$ , kas apraksta katrai tēmai vai konceptam atbilstošos mācību objektus.

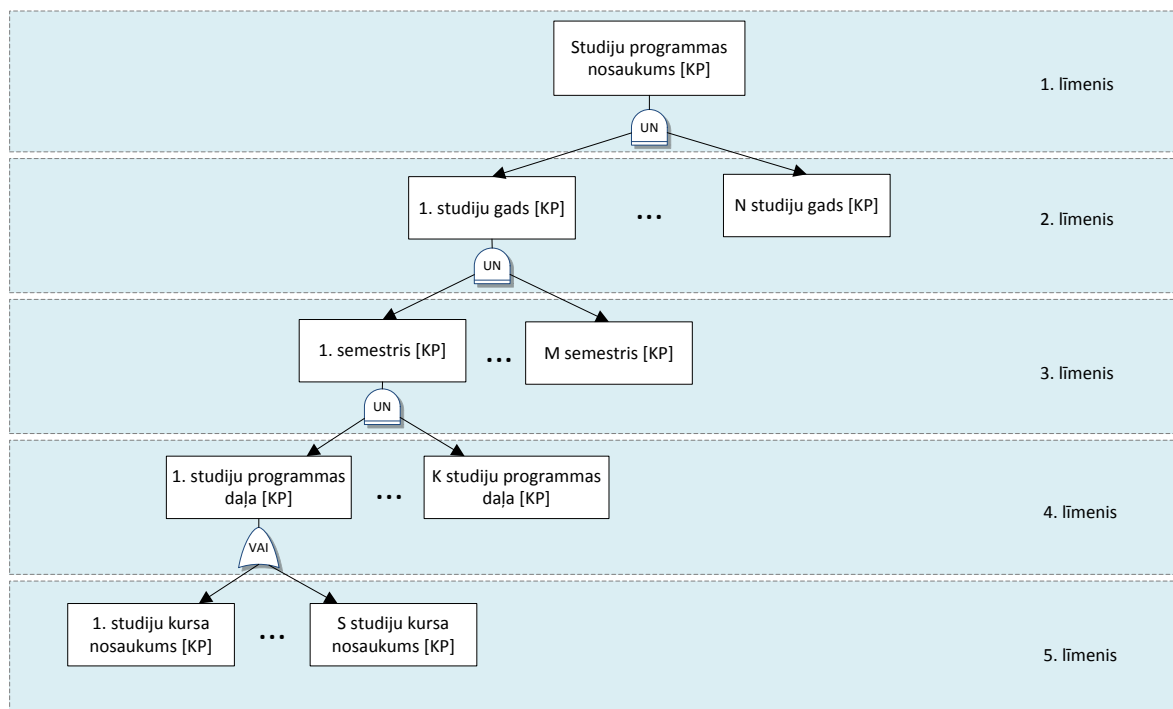
Individualizētu studiju plānošanas ietvara grafī ir saistīti. Katrs nākamais grafs izriet no iepriekšējā. Individualizētas studiju plānošanas ietvara konstruēšanas soļi:

1. solis — vispirms veido grafu  $G_1$  un sāk ar studiju programmas nosaukuma definēšanu, kas ir grafa  $G_1$  saknes virsotne;
2. solis — nākamajā līmenī definē studiju gadus, kas ir saknes virsotnes tiešie pēcteči;
3. solis — katram studiju gadam nākamajā līmenī piekārto divas pēcteču virsotnes — pavasara semestris un rudens semestris;
4. solis — katram semestrim grafa  $G_1$  nākamajā līmenī definē pēcteču virsotnes, kam atbilst studiju programmas daļas nosaukums;
5. solis — katrai studiju programmas daļai nākamajā līmenī kā pēcteču virsotnes definē atbilstošos studiju kursu nosaukumus;
6. solis — katram kursa nosaukumam kā priekšteči jāapraksta citu kursu nosaukumi, kas ir priekšnosacījums kursa apgūšanai;
7. solis — sāk veidot grafu  $G_2$  un definē studiju kursa nosaukumu un tā KP apjomu, kas ir grafa  $G_2$  viena no saknes virsotnēm. Grafu  $G_2$  skaits atbilst grafā  $G_1$  aprakstītajam kursu nosaukumu skaitam;
8. solis — definē studiju kursa virsotnei pēcteču virsotnes — nodarbību numurus (to skaits atbilst kursa kredītpunktu apjomam, Ventspils Augstskolā viens KP ir 8 nodarbības, viena nodarbība ir 2 stundas);
9. solis — katrai nodarbībai grafa nākamajā līmenī kā pēcteču virsotnes definē nosaukumus tēmām, kuras jāapgūst noteiktā nodarbībā;
10. solis — katram tēmas nosaukumam definē priekštečus, ko attēlo ar priekšteču virsotnēm un kas parāda priekšnosacījumu tēmu nosaukumus;
11. solis — izvēlas tēmas un definē tās konceptus, kas atbilst grafam  $G_3$ , rezultātā grafu  $G_3$  skaits atbilst tēmu skaitam;
12. solis — sasaista konceptus ar lokiem un definē loku semantiku;
13. solis — izvēlas tēmas nosaukumu no grafa  $G_2$  vai konceptu no grafa  $G_3$ , kas ir grafa  $G_4$  saknes virsotne. Grafu  $G_4$  skaits atbilst grafa  $G_2$  tēmu nosaukumu skaitam vai grafa  $G_3$  konceptu skaitam;
14. solis — grafa  $G_4$  saknes virsotnei nākamajā līmenī kā pēcteču virsotnes definē mācību objektu nosaukumus;
15. solis — atbilstoši katram mācību objekta nosaukumam definē mācību objektus.

Šāds promocijas darbā izstrādātais visaptverošais studiju procesu aprakstošais grafa ietvars nav piedāvāts nevienā no apskatītajiem literatūras avotiem un tādēļ ir uzskatāms par vienu no darba zinātniskajiem jauninājumiem. Nākamajās četrās sadaļās detalizētāk ir aprakstīts katrs no grafiem un tā loma individualizētu studiju plānošanā.

### 3.1.1. Studiju plāna struktūras apraksts

Grafs  $G_1(V_1, Q_1)$  ir UN/VAI grafs individuāla studiju plāna konstruēšanai, kur  $V_1$  ir virsotņu kopa, kas attēlo studiju plāna hierarhiju. Individualizēta studiju plāna konstruēšanai 3.1. attēlā dots grafs parāda vispārīgu struktūru, Ventspils Augstskolas (VeA) bakalaura studiju programmas „Datorzinātnes” struktūra ir parādīta saitē: <http://1drv.ms/1n77tX7>. Tā satur 94 virsotnes un 93 lokus.



3.1. att. Studiju plāna konceptuālā struktūra

Grafa struktūru var pārveidot, pievienojot papildus priekšnosacījuma lokus starp kursiem. Tas ļauj arī pareizi izveidot studiju plānu (saite: <http://1drv.ms/1qncvz1>). Grafa  $G_1(V_1, Q_1)$  piektajā līmenī ir atkarīgi kursi, kuriem ir svarīga to realizēšanas secība, un ir neatkarīgi kursi, kuriem nav vajadzīgas priekšzināšanas. Apmācāmais var individualizēt studiju plānu, izvēloties kursus no studiju programmas B un C daļas.

Grafam  $G_1(V_1, Q_1)$  ir noteikti šādi lietošanas gadījumi:

- studiju plāna konstruēšana;
- mācību moduļu konstruēšana mūzizglītības kursiem;
- studiju plāna konstruēšana pēc apmācāmā dalības mobilitātes programmā;
- studiju plāna konstruēšana pēc kredītpunktu atzīšanas [71, 11];
- studiju plāna konstruēšana pēc pārnākšanas no citas augstskolas vai citas studiju programmas.

### 3.1.2. Studiju kursa struktūras apraksts

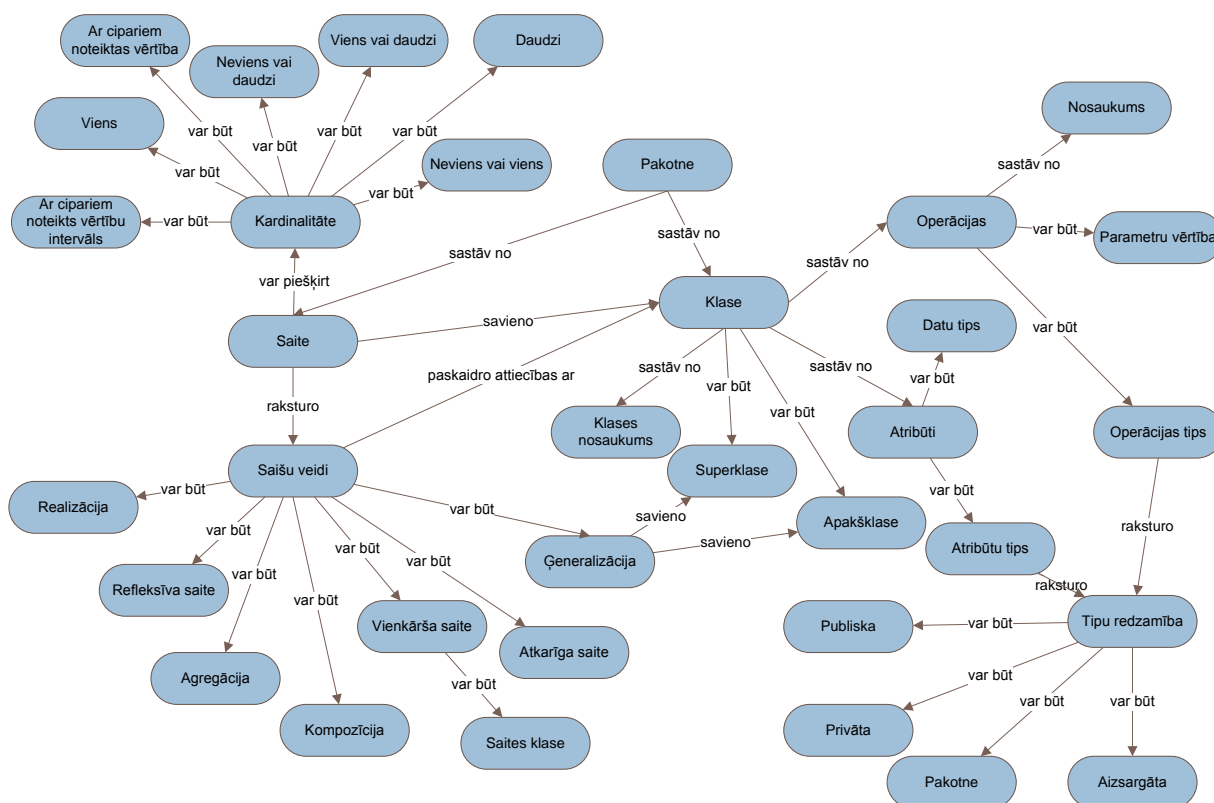
Nākamais grafs  $G_2(V_2, Q_2)$  apraksta katra studiju kursa uzbūvi. Šo grafu konstruē pēc tam, kad ir uzkonstruēts studiju plāna grafs  $G_1(V_1, Q_1)$ . Grafa  $G_1(V_1, Q_1)$  uzbūves apakšējā līmenī ir

attēloti studiju plāna kursi, ar ko arī noslēdzas šī grafa struktūra. Savukārt grafs  $G_2(V_2, Q_2)$  parāda katra studiju kursa struktūru, līdz ar to, ja grafa  $G_1(V_1, Q_1)$  apakšējā līmenī ir attēloti, piemēram, 60 kursi, tad atbilstoši vajag 60 grafus  $G_2(V_2, Q_2)$ . Pilns studiju kursa „Objektorientētā modelēšana” (saīsināti — OOM) uzbūves grafs ir parādīts saitē: <http://1drv.ms/1t0fBM1>. Grafa  $G_2(V_2, Q_2)$  saknes virsotne ietver kursa nosaukumu un kursa apjomu kredītpunktos. Kā kursa nosaukuma pēcteči otrajā līmenī ir attēlotas nodarbības atbilstoši KP skaitam, viena nodarbība ir 2 akadēmiskās stundas<sup>1</sup>. Grafa trešajā līmenī ir attēlotas studiju kursa tēmas, tās iespējams papildināt ar īpašībām, kas nosaka to apguves līmeni. Šim mērķim izmanto Blūma taksonomijas (Blooms Taxonomy) [72, 73, 74]. Saitē: <http://1drv.ms/1t0fBM1> redzamā grafa  $G_2(V_2, Q_2)$  trešajā līmenī studiju kursa tēmām ir pievienoti apguves līmeņi.

Lai apmācāmais varētu izvēlēties tēmu apguves secību, katrai tēmai ir jādefinē priekšteči, tādā veidā aprakstot katrai tēmai priekšnosacījuma tēmas. Saitē: <http://1drv.ms/1qncYlp> ir redzams Ventpils Augstskolas bakalaura studiju programmas „Datorzinātnes” kursa „Objektorientētā modelēšana” tēmu savstarpējo attiecību grafs.

### 3.1.3. Kursa tēmu konceptu karte

Turpinot individualizētu studiju plānošanu, nākamajā solī tiek ņemta katra tēma no studiju kursa grafa  $G_2(V_2, Q_2)$  un attēlota ar konceptu karti (angļu val. *concept map* — CM) [75].



3.2. att. Konceptu karte tēmai „Klašu diagrammas komponentes”

<sup>1</sup> Akadēmiskā stunda - studiju darba laika vienība, kuras ilgums ir 45 minūtes [8].

Konceptu kartes 1972. gadā ieviesa J. D. Novaks (J. D. Novak) [76]. Konceptu karte ir zināšanu attēlošana grafa veidā [77]. Konceptu un to savstarpējo attiecību attēlošanai tiek izmantots grafs  $G_3$ . Grafs  $G_3(V_3, Q_3)$  ietver netukšu virsotņu kopu  $V_3$ , kas attēlo konceptus, un netukšu loku kopu  $Q_3$ , kas attēlo attiecības starp konceptiem. Attiecības starp konceptiem raksturo loku semantika. Koncepts apraksta notikumu vai objektu. Divi vai vairāki savstarpēji saistīti koncepti kopā veido teikumu [76].

Konceptu kartes ir lietderīgi pielietot mācību procesā un zināšanu vērtēšanā [78, 76]. Konceptu karšu izmantošana, lai parādītu kursa tēmas struktūru, padara apmācāmajam mācības „konceptuāli caurspīdīgākas” [76]. Ne visi apmācāmie spēj veiksmīgi identificēt nozīmīgākos konceptus, bet konceptu karte to palīdz apgūt. Studijuursos, kur ir jāiegaumē daudz faktu, datumu, nosaukumu, vienādojumu utt., apmācāmiem var kļūt garlaicīgi, savukārt konceptu kartes izmantošana, ļauj viņiem sajūst kontroli pār kursu un to veiksmīgi apgūt [76].

Grafs  $G_3$ , kas attēlots kā konceptu karte, var būt gan orientēts, gan neorientēts. 3.2. attēlā ir parādīts konceptu kartes piemērs grafa  $G_2$  tēmai „Klašu diagrammas komponentes”.

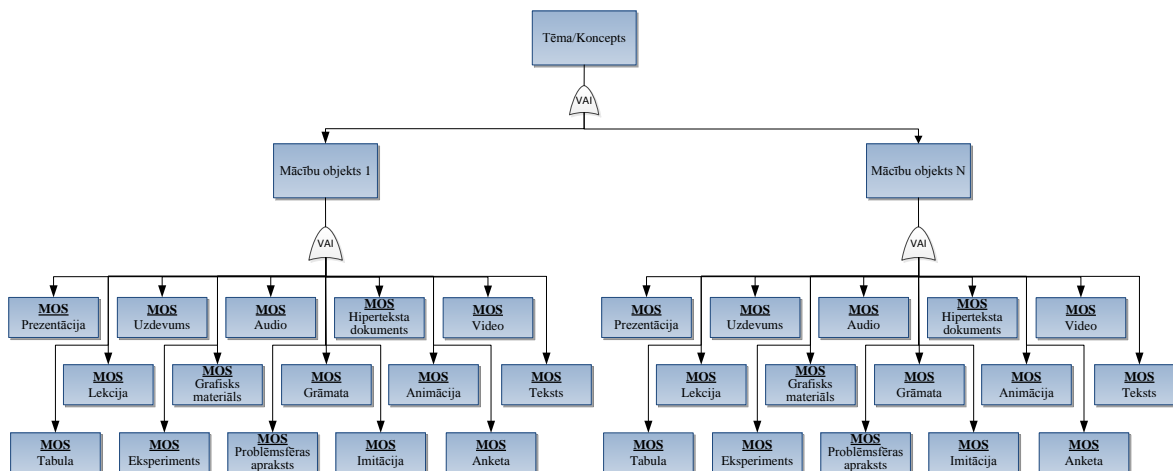
Tā kā grafa  $G_3(V_3, Q_3)$  koncepti ir savienoti ar studiju kursa struktūras grafa  $G_2(V_2, Q_2)$  tēmām, tad apmācāmie individualizē zināšanu apgūšanas veidu par konkrētu konceptu.

### 3.1.4. Mācību objektu grafs

Individualizētu studiju plānošanas ietvara ceturtais grafs  $G_4(V_4, Q_4)$  apraksta tēmu un konceptu mācību objektus, kuri ir pieejami zināšanu apgūšanai. Mācību objekts ir centrālais elements apmācības sistēmās. Mācību objektu var atkārtoti lietot kopā ar citiem mācību objektiem, izmantojot dažādas kombinācijas un tādā veidā veidojot apmācības saturu. Par mācību objektiem apgalvo, ka [79]: mācību objekti ir entītijas, kuras ietver mācību satura informāciju; tie var būt digitālā vai nedigitālā veidā; lai pārvaldītu mācību objektus, izmanto mācību satura pārvaldības sistēmas; tos var izmantot vienu vai vairākas reizes; vienu un to pašu mācību objektu var izmantot dažādosursos; mācību objekti var padarīt apmācības procesu elastīgāku, ātrāku un efektīvāku; tiem jābūt modulāriem, savstarpēji apvienojamiem un sadalāmiem (kombinējamiem dažādos veidos), viegli integrējamiem dažādosursos.

Grafs  $G_4$  (3.3. att.) ļauj apmācāmajam izvēlēties dažādus mācību objektus, tādējādi respektējot katra apmācāmā individualitāti un atšķirīgo zināšanu uztveršanas veidu. Mācību objektu izvēli nosaka veids kā apmācāmais mācās jeb mācīšanās stilu, kas ir kognitīvu, emocionālu, raksturojošu un fizioloģisku faktoru kopa, kura nosaka, kā apmācāmais uztver un sadarbojas ar apmācības vidi [80]. Piemērota mācību stila izvēle uzlabo apmācāmā attieksmi pret mācībām, domāšanas prasmes, akadēmiskos sasniegumus un radošumu [81]. Vairāki autori piedāvā mācīšanās stila modeļus, bet viens no visplašāk izmantotākajiem [82, 83, 84] ir R. M. Feldera (R. M. Felder) un L. K. Silvermanes (L. K. Silverman) mācīšanās stila modelis [21]. R. M. Felders un L. K. Silvermane definēja 8 mācīšanās stilius [85, 86]. Lai palīdzētu noteikt mācīšanās stilu, R. M. Felders un B. A. Solomane (B. A. Soloman) ir izstrādājuši

tīmeklī pieejamu anketu [87], kur ikviens, atbildot uz 44 jautājumiem, var noteikt sev piemērotāko mācīšanās stilu. Lai palīdzētu apmācamajiem izvēlēties mācību objektus atbilstoši viņu mācību stilam, tad pasniedzējiem, aprakstot mācību objektus, tie jāklasificē atbilstoši mācību stila kasifikatoram. Pēc tam apmācāmais var izvēlēties mācību objektus atbilstoši viņa mācību stilam.



Apzīmējums:  
MOS - Mācību objekta mācību stils

3.3. att. Tēmu iespējamo mācību objektu grafs

Tā kā studiju plāna un studiju kursu struktūras ir pakļautas izmaiņām, ir svarīgi veikt to analīzi. Struktūras analīze ļauj izmaiņu veicējiem pieņemt pamatotus lēmumus par veicamajām izmaiņām struktūrā. Grafu struktūras analīze ir aprakstīta nākamajā sadaļā.

### 3.2. Grafu struktūras analīze

Grafu struktūras analīze ir aprakstīta vairākos darbos [88, 89, 90]. Promocija darba autore izvēlējās izmantot darbā [88] piedāvāto struktūras analīzes pieeju — struktūrmodelēšanu, jo tā ļauj noteikt elementu nozīmību, kas ir galvenā atšķirība salīdzinājumā ar citām metodēm. Struktūrmodelēšana ir topoloģiskās modelēšanas virziens, kas balstās uz modeļu datorizētu konstruēšanu un analīzi, zināšanu bāzes izveidošanu un secināšanas procedūru izmantošanu [88]. Tā sāka attīstīties 1970-to gadu vidū un būtisku ieguldījumu tās attīstīšanā ir devuši 13 Rīgas Tehniskās universitātes pētnieki [88]. Tā ir izstrādāta tehnisku sistēmu ar fiziski daudzveidīgiem elementiem matemātiskai modelēšanai nepilnīgas informācijas apstākļos [91]. Struktūrmodelēšanā tiek pētītas attiecības starp struktūras elementiem, elementu nozīme sistēmas funkcionēšanā, kā arī elementu izslēgšanas seku novērtēšana [91].

Promocijas darbā struktūrmodelēšanas pieejas lietošana studiju plānu, studiju kursu un konceptu karšu struktūras analīzē ir jauns tās pielietojums.

Lai izvēlētos piemērotu struktūrmodelēšanas metodi, jāanalizē grafa saistības tips. Struktūrmodelēšanā lieto vienkopusēji un stingri saistītu struktūru jēdzienus [88]. Promocijas darba ietvaros aprakstītie grafi  $G_1$ ,  $G_2$  un  $G_3$  pieder pie vienkopusēji saistītām struktūrām.

Struktūrmodelēšanā izšķir kvalitatīvo un kvantitatīvo struktūras analīzi [88]. Kvalitatīvā analīze nosaka grafa virsotņu nozīmību, kas norāda, cik virsotne ir nozīmīga kopējā struktūrā. Kvantitatīvā analīzē tiek izmantots grafu teorijā definētais attālums starp elementiem. Promocijas darbā tiks izmantota struktūras kvalitatīvā analīze. Lai veiktu kvalitatīvo struktūras analīzi vienpusēji saistītai struktūrai, tad virsotnēm ir jāaprēķina rangi [88]. Ir vairākas rangu aprēķināšanas metodes [88]. Lai veiktu pilnīgāku grafu  $G_1$ ,  $G_2$  un  $G_3$  analīzi, tad ir izvēlētas trīs rangu aprēķināšanas metodes:

- pēc virsotņu lokālās pakāpes  $R^1_{LP}$ ;
- pēc ceļu skaita grafā, kas satur doto virsotni  $R^1_{CE}$ ;
- pēc sasniedzamo virsotņu skaita  $R^2_{CE}$ .

Pēc rangu vērtību iegūšanas, aprēķina virsotņu strukturālās nozīmības vērtības, pamatojoties uz aprēķinātām ranga vērtībām. Virsotņu strukturālās nozīmības vērtības aprēķināšanā parasti izmanto divus rangus: pēc ceļu skaita grafā un pēc sasniedzamo virsotņu skaita [88], bet promocijas darba autore piedāvā virsotņu strukturālās nozīmības vērtības aprēķinā iekļaut arī trešo rangu, ko aprēķina pēc virsotņu lokālām pakāpēm. Ja virsotnes ranžē pēc to lokālajām pakāpēm, tad tiek analizētas tiešās saites, bet netiešās saites, kas ir būtiskas sarežģītās sistēmās, tiek ignorētas [88]. Līdz ar to sarežģītās sistēmās lokālo pakāpju analīze nav aktuāla. Tomēr citādi ir ar individualizētu studiju plānošanas sistēmu, kur ranga aprēķināšanai pēc virsotņu lokālām pakāpēm ir būtiska nozīme, kad nepieciešams analizēt atsevišķi katra studiju kursa, tēmas vai koncepta lokālo informāciju.

Katra grafa  $G_1$ ,  $G_2$  un  $G_3$  struktūras analīze tiek veikta, lai sasniegtu specifiskus mērķus, kas ļauj formulēt zemāk dotās rekomendācijas. Nozīmīgāko virsotņu identificēšana studiju plānā, ko apraksta ar grafu  $G_1(V_1, Q_1)$  ir svarīga:

- lai pieņemtu lēmumu par ierosinātām izmaiņām studiju plānā. Ir jāanalīzē katra kursa aprēķinātās ranga vērtības. Ja studiju kursam ir augsta ranga vērtība, tad šāda kursa izslēgšana no studiju plāna var apdraudēt ar šo kursu saistīto kursu īstenošanu un līdz ar to arī studiju programmas mērķu sasniegšanu, kā arī palielinās risks nenasniegt vēlamo kopējo zināšanu līmeni. Bez tam, aizstājot šādu kursu ar citu, var mainīties programmas struktūra, jo parādās jauni priekšnosacījumu loki;
- lai apmācāmajam palīdzētu veidot kvalitatīvu studiju plānu. Pēc ranga nozīmīgākie kursi ir jānosaka kā obligāti apgūstami, lai individuālajā studiju plānā tie noteikti būtu iekļauti;
- lai palīdzētu speciāli izveidotai komisijai, veicot iepriekšējā izglītībā vai profesionālajā pieredzē sasniegto studiju rezultātu atzišanu. Tas nozīmē, ka, izvērtējot apmācāmā zināšanas, vislielākā vērtība jāpievērš nozīmīgākiem kursiem;
- lai prognozētu vai kursam būs relatīvi liels apmācāmo skaits. To var noteikt, aprēķinot rangu  $R^1_{LP}$ ;
- lai identificētu kursus, kuri ietverti vislielākajā skaitā mācību scenāriju (rangs  $R^1_{CE}$ );

- lai atrastu kursus, pēc kuriem ir iespējama vislielākā zarošanās (rangs  $R^2_{CE}$ ), kas parāda iespējamo mācību ceļu daudzveidību.

Studiju kursa, ko apraksta ar  $G_2(V_2, Q_2)$ , struktūras analīze, izmantojot rangus un nosakot nozīmīgākās virsotnes studiju kursā, ir svarīga:

- veicot iepriekšējā izglītībā vai profesionālajā pieredzē sasniegto studiju rezultātu atzīšanu. Zināšanu pārbaudei komisijai (kas izveidota saskaņā ar atbilstošu augstskolas nolikumu) obligāti jāiekļauj tās studiju kursa tēmas, kuras pēc ranga noteiktas kā nozīmīgākās;
- ja pasniedzējs vēlas veikt labojumus studiju kursa struktūrā — izslēgt tēmu vai aizstāt to ar citu. Tad ir jānosaka nozīmīgākās studiju kursa tēmas, lai analizētu tēmu nozīmi attiecībā pret citiem saistītiem kursiem. Ja no kursa vēlas izslēgt tēmu, kura sniedz priekšzināšanas citu kursu apguvei, tad jārod risinājums, kā kompensēt apmācāmajiem nepieciešamās zināšanas;
- kad apmācāmajiem veic kursu pielīdzināšanu pēc dalības mobilitātes programmā, nepieciešama dziļāka studiju kursu tēmu analīze. Ja svarīgākās tēmas sakrīt (sakrišanas procentu nosaka augstskolas lēmēj institūcija), tad var pieņemt lēmumu par konkrēta studiju kursa pielīdzināšanu;
- lai pieņemtu lēmumu par iepriekšējā izglītībā vai profesionālajā pieredzē sasniegto studiju rezultātu atzīšanu, apmācāmā zināšanas ne vienmēr var izvērtēt atbilstoši kursam. Tādā gadījumā jāveic dziļāka analīze un jāizvērtē zināšu atbilstība tēmām.

Konceptu, ko apraksta ar  $G_3(V_3, Q_3)$ , struktūras analīze, izmantojot rangus un nosakot nozīmīgākās virsotnes, ir svarīga:

- ja pasniedzējs veido konceptu karti. Tad viņš strukturāli nozīmīgākos konceptus jau var parādīt apmācāmajam, lai viņam pēc tam būtu vieglāk izveidot pārējo struktūru;
- lai apmācāmais pievērstu pastiprinātu uzmanību svarīgāko konceptu apguvei;
- ja apmācāmais veido konceptu karti un viņam mācībām ir noteikta zemāka grūtības pakāpe. Tad dotajā konceptu kartes struktūrā var ievietot papildus konceptus, lai palīdzētu apmācāmajam veikt uzdevumu;
- ja pasniedzējs vēlas veikt labojumus — izslēgt konceptu vai aizstāt to ar citu. Tad ir jānosaka nozīmīgākie koncepti, lai analizētu koncepta saistību ar citiem konceptiem.

Mācību objektu grafam  $G_4(V_4, Q_4)$  netiks veikta struktūras analīze, jo mācību objektus izvēlas apmācāmais, pamatojoties uz savām prioritātēm mācību materiāla apgūšanā vai mācīšanās stiliem.

Papildus grafu struktūras analīzei, ir būtiski izvēlēties tā vizuālo attēlojumu.

### 3.3. Grafu vizualizācijas algoritmi

2.1. un 2.2. apakšnodaļās aprakstīto intelektuālo mācību sistēmu analīzes rezultātā autore izvērza prasību, ka tām ir jāpiedāvā vairāki studiju plāna un kursu grafu attēlošanas veidi.

Grafu vizualizācijai darba autore ir izvēlējusies 8 algoritmus, kurus atbalsta atvērtā koda programmatūras bibliotēka Graph# [92]. Individualizētu studiju plānošanas ietvara prototipā ir izmantoti šādi algoritmi: *Tree* [93] algoritms, kas hierarhiski attēlo grafa struktūru (saite: <http://1drv.ms/1qnd8ct>); *Circular* [94] algoritms, kas izvieto grafa elementus aplī apkārt iedomātam centram (saite: <http://1drv.ms/1qndm3q>); *EfficientSugiyama* [95] algoritms, kur virsotnes ir attēlotas rindās un loki, kas saista virsotnes, ir vērsti no augšas uz leju (saite: <http://1drv.ms/1qndBvt>); *Fruchterman-Reingold* — *FR* [96] algoritms, kura pamatā ir uz spēku virzīta algoritma darbība (saite: <http://1drv.ms/1qndRua>); *BoundedFR* [97] algoritms realizē analogiskus darbības principus kā *FR* algoritms, bet papildus ir paplašināts ar kopējā grafa izvietošanas laukuma ierobežošanas kritērijiem (saite: <http://1drv.ms/1qne7JT>); *ISOM* [98, 99] algoritmā pamatā ir konkurētspējīgu mācību stratēģija, kur ir tendence no saistītām virsotnēm veidot klasterus (saite: <http://1drv.ms/1qnepQI>); *Kamada – Kawai – KK* [100] algoritma pamatā ir uz spēku virzīta virsotņu izvietošana, bet papildus skatās attālumus starp jebkurām divām virsotnēm (saite: <http://1drv.ms/1qneG6t>); *LinLog* [101] algoritma pamatā ir uz spēku virzīta izvietošana. Algoritms izmanto klasteru veidošanu grafā (saite: <http://1drv.ms/1qneO5W>).

Veicot iepriekš aprakstīto 8 grafu vizualizācijas algoritmu piemērotības analīzi, tika secināts, ka vispiemērotākais algoritms ir *Efficient Sugiyama*. Tā kā grafu vizualizācijas algoritmu piemērotības analīze nav pamatota uz matemātiskiem aprēķiniem vai tehniskiem parametriem, tad, lai praktiski pārliecinātos par to piemērotību dažādiem lietošanas gadījumiem, visi 8 algoritmi ir realizēti prototipā, lai pārbaudītu to piemērotību konkrētajiem scenārijiem praktiski, un rezultāti ir aprakstīti 4.1. apakšnodaļā.

### 3.4. Kopsavilkums un secinājumi

Galvenie secinājumi ir šādi:

- ir parādīts, ka individualizētu studiju plānošanai var izmantot vienā sistēmā apvienotu četru grafu kopu, kas nodrošina kompleksu pieeju intelektuālās mācību sistēmas pedagoģiskā moduļa sastāvdaļas realizācijai;
- lai noteiktu virsotņu nozīmību studiju plāniem, kursiem vai tēmām, ir iespējams izmantot struktūrmodelēšanas metodes, kas pamato konkrētu lēmumu pieņemšanu par studiju plānu, kursu un tēmu struktūras izmaiņām gan apmācāmajam, gan pasniedzējiem, gan iestādes administratīvajam darbiniekam.

Jaunais teorētiskais rezultāts — ir izstrādāts individualizētu studiju plānošanas ietvars. Bez tam ir aprakstīta un pamatota struktūrmodelēšanas metodes izmantošanas lietderība individualizētu studiju plānošanas sistēmas studiju plānu, studiju kursu un konceptu kartes struktūras analīzei, kas atbalsta studiju plānošanu, izstrādi un izmaiņu ieviešanu. Ir piedāvāts jauns risinājums virsotņu strukturālās nozīmības vērtību aprēķināšanai.

## 4. INDIVIDUALIZĒTU STUDIJU PLĀNOŠANAS SISTĒMAS REALIZĀCIJA

### 4.1. Individualizētu studiju plānošanas sistēmas prototips

Lai realizētu individualizētu studiju plānošanas ietvaru, ir izstrādāts prototips — Studiju plānošanas sistēma (saīsināti — SPS) [102], kas izstrādāts, pamatojoties uz iepriekšējā nodaļā aprakstīto individualizētu studiju plānošanas ietvaru. Prototips ļauj vizualizēt un individuāli plānot studiju plānu atbilstoši grafam  $G_1(V_1, Q_1)$  un studiju kursa apguvi, pamatojoties uz grafu  $G_2(V_2, Q_2)$ . Grafu kursa tēmu attēlošanai ar konceptu karti  $G_3(V_3, Q_3)$  iegūst ar uz konceptu kartēm balstītu zināšanu vērtēšanas sistēmu IKAS. Savukārt grafs mācību objektu attēlošanai  $G_4(V_4, Q_4)$  prototipā nav vizuāli attēlots, bet ir nodrošināta mācību objektu ievade. Prototipā ir implementēta sistēmas datubāze (*SPSDB*), datu apskates un ievades formas (*SPS.DataManager*), kā arī studiju plānu konstruēšanas un studiju kursu apguves secības izvēles lietojumprogramma (*SPS.StudentStudyProgramBuilder*). SPS prototips ir izstrādāts, izmantojot *Microsoft.NET Framework 4.5* programmatūras izstrādes platformu [103, 104]. Tajā ir izmantotas šādas iebūvētas tehnoloģijas: *Windows Presentation Foundation (WPF)* [105] — grafisko lietotāju saskarņu izstrādei un *LightSwitch* [106, 107] — datu apskates un ievades formu izstrādei. Kā datubāzes pārvaldības sistēma lokālajai datubāzei ir izmantota *SQL Server 2012 Express LocalDB* [108]. Tā kā SPS neizmanto specifiskās *SQL Server 2012 Express LocalDB* iespējas, risinājumu var izmantot arī ar citām *SQL Server* versijām [109]. *Microsoft.NET Framework 4.5* ir iekļauts *Visual Studio 2012* [110]. Darbībām ar grafiem un grafu vizualizācijai ir izmantotas atvērtā koda programmatūras bibliotēkas *QuickGraph* [111] un *Graph#* [92], jo tās atbalsta *Microsoft.NET Framework 4.5*.

Nākamajās sadaļās detalizētāk ir aprakstīta iepriekšminēto rīku darbība.

#### 4.1.1. Datu ievades rīks *SPS.DataManager*

*SPS.DataManager* (4.1. attēls) ir individualizētu studiju plānošanas sistēmas datu ievades rīks, kas ir izstrādāts, izmantojot *LightSwitch* tehnoloģijas.

Tālāk ir parādīta *SPS.DataManager* rīka funkcionalitāte.

**1. Studiju kursiem atbilstošās nozares ievades logs** ļauj ievadīt, rediģēt un dzēst nozaru nosaukumus. Papildus panelī ir parādīti izvēlētās nozares studiju kursa dati.

**2. Studiju programmas datu ievades logs** ļauj ievadīt, rediģēt un dzēst studiju programmas datus. Papildus panelī ir parādīti aktīvās studiju programmas daļas dati.

**3. Studiju programmu daļu nosaukumu ievades logs** ļauj ievadīt, rediģēt un dzēst studiju programmu daļu nosaukumus. Papildus panelī ir parādīti studiju programmas daļas dati un studiju kursu dati.

**4. Pasniedzēju datu ievades logs** ļauj ievadīt, rediģēt un dzēst datus par pasniedzējiem. Papildus panelī ir parādīti izvēlētā pasniedzēja mācīto studiju kursu nosaukumi.

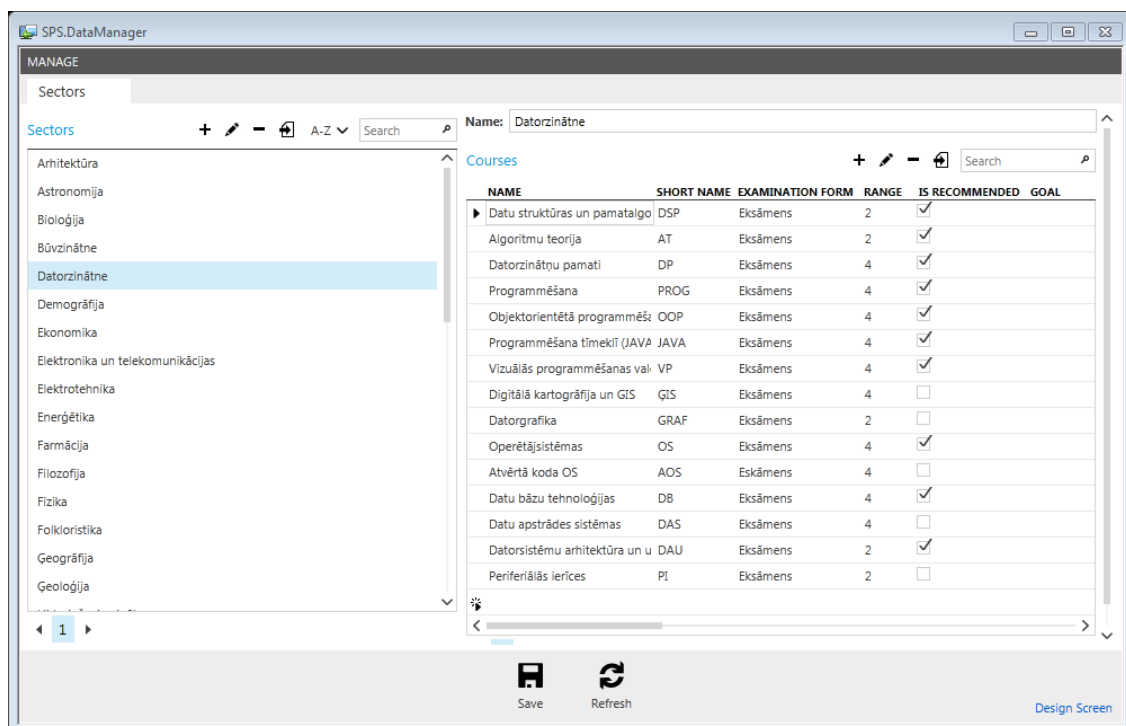
**5. Studiju kursu ievades logs** ļauj ievadīt, rediģēt un dzēst studiju kursus. Papildus panelī studiju kursu attēlošanai ir izmantotas divas cilnes: studiju kursa pamatinformācija (*Main Information*) un papildus informācija (*Additional Information*). Turpat zemāk ir parādīti aktīvā studiju kursa priekšnosacījuma kursi, pēcnosacījuma kursi, pasniedzēji un kursa tēmas.

**6. Studiju kursu tēmu mācību objektu ievades logs** ļauj ievadīt, rediģēt un dzēst studiju kursu tēmu mācību objektus. Papildus panelī ir parādīti izvēlētās kursu tēmas mācību objekti — mācību objekta tips un saturs, kā arī ar mācību objektu saistītās tēmas.

**7. Studiju kursu tēmu ievades logs** ļauj ievadīt, rediģēt un dzēst studiju kursu tēmas. Papildus panelī ir parādīti izvēlētās tēmas saistīto kursu nosaukumi, priekšnosacījumu tēmas, pēcnosacījumu tēmas un mācību objekti.

**8. Apmācāmo datu ievades logs** ļauj ievadīt, rediģēt un dzēst datus par apmācāmajiem. Papildus panelī ir redzami dati par apmācāmo. Turpat zemāk ir parādīti izvēlētā apmācāmā studiju plāni un to izveides datums un laiks.

**9. Apmācāmā izvēlētās studiju programmas ievades logs** ļauj ievadīt, rediģēt un dzēst datus par apmācāmā izvēlēto studiju programmu. Papildus panelī ir parādīti apmācāmā izvēlētās studiju programmas plāna kursi un kursu tēmas.



4.1. att. SPS.DataManager rīka saskarne

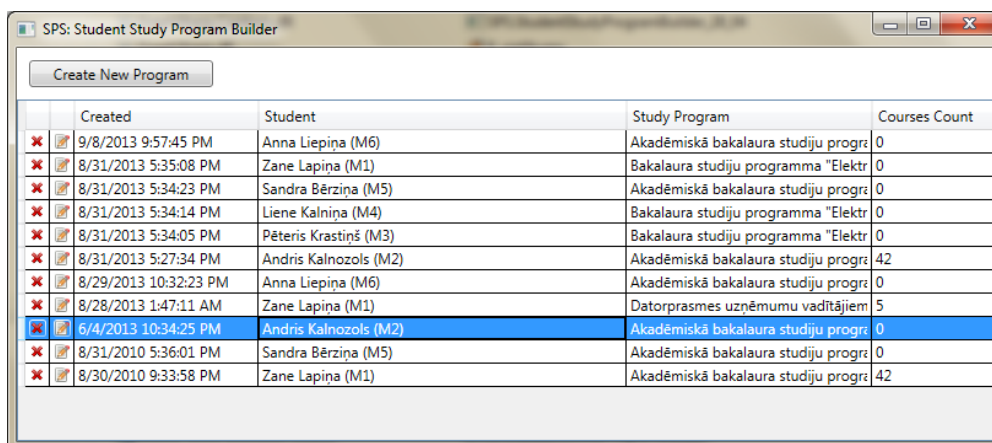
Pēc datu ievades rīkā SPS.DataManager var uzsākt individuāla studiju plāna veidošanu un studiju kursa tēmu apguves secības noteikšanu rīkā SPS.StudentStudyprogramBuilder, kas aprakstīts nākamajā sadaļā.

### 4.1.2. Individualizētu studiju plānošanas rīks SPS.StudentStudyprogramBuilder

SPS.StudentStudyprogramBuilder ir paredzēts individualizēta studiju plāna un studiju kursa tēmu apguves secības noteikšanai. Tas izstrādāts, izmantojot Windows Presentation Foundation (WPF) tehnoloģijas.

1. Jauna studiju plāna izveidošana apmācāmajam ļauj izvēlēties apmācāmo un piekārtot tam studiju programmu.

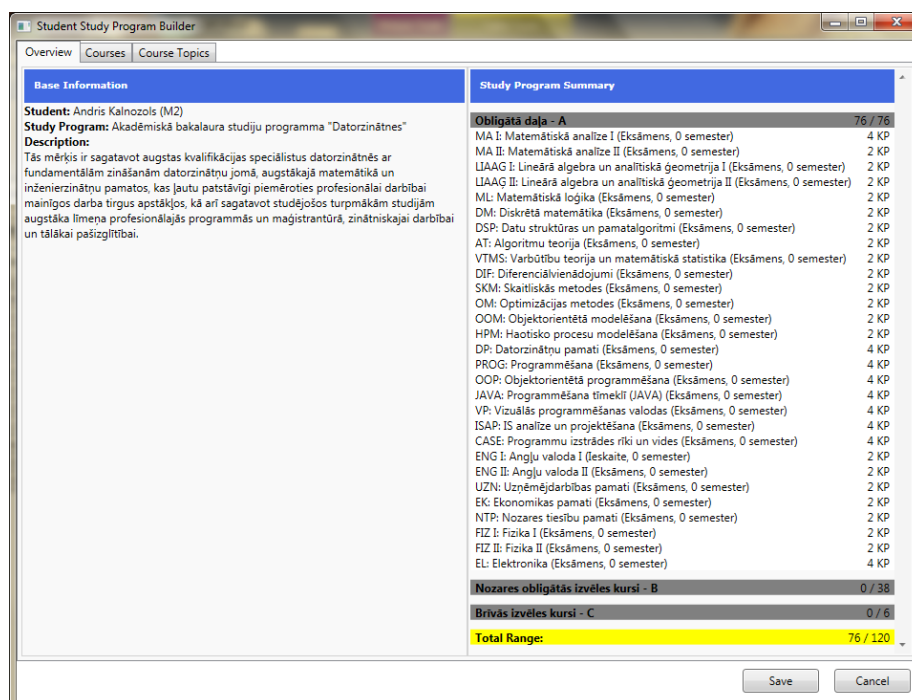
2. Apmācāmo izvēlēto studiju programmu logs (4.2. att.) parāda studiju programmas nosaukumu un izvēlēto kursu skaitu.



	Created	Student	Study Program	Courses Count
✖	9/8/2013 9:57:45 PM	Anna Liepiņa (M6)	Akadēmiskā bakalaura studiju progr	0
✖	8/31/2013 5:35:08 PM	Zane Lapina (M1)	Bakalaura studiju programma "Elektr	0
✖	8/31/2013 5:34:23 PM	Sandra Bērziņa (M5)	Akadēmiskā bakalaura studiju progr	0
✖	8/31/2013 5:34:14 PM	Liene Kalniņa (M4)	Bakalaura studiju programma "Elektr	0
✖	8/31/2013 5:34:05 PM	Pēteris Krastiņš (M3)	Bakalaura studiju programma "Elektr	0
✖	8/31/2013 5:27:34 PM	Andris Kalnozols (M2)	Akadēmiskā bakalaura studiju progr	42
✖	8/29/2013 10:32:23 PM	Anna Liepiņa (M6)	Akadēmiskā bakalaura studiju progr	0
✖	8/28/2013 1:47:11 AM	Zane Lapina (M1)	Datorprasmes uzņēmumu vadītājiem	5
✖	6/4/2013 10:34:25 PM	Andris Kalnozols (M2)	Akadēmiskā bakalaura studiju progr	0
✖	8/31/2010 5:36:01 PM	Sandra Bērziņa (M5)	Akadēmiskā bakalaura studiju progr	0
✖	8/30/2010 9:33:58 PM	Zane Lapina (M1)	Akadēmiskā bakalaura studiju progr	42

4.2. att. Apmācāmo izvēlēto studiju programmu logs

No šī loga ir iespējams izsaukt jauna studiju plāna veidošanas logu, aktivizējot pogu <Create New Program>. Ir iespējams arī labot un dzēst jau izveidotos studiju plānus. Izvēloties apmācāmā studiju plāna rediģēšanu, atveras logs (4.3. att.), kur apmācāmais var uzsākt veidot individualizētu studiju plānu.



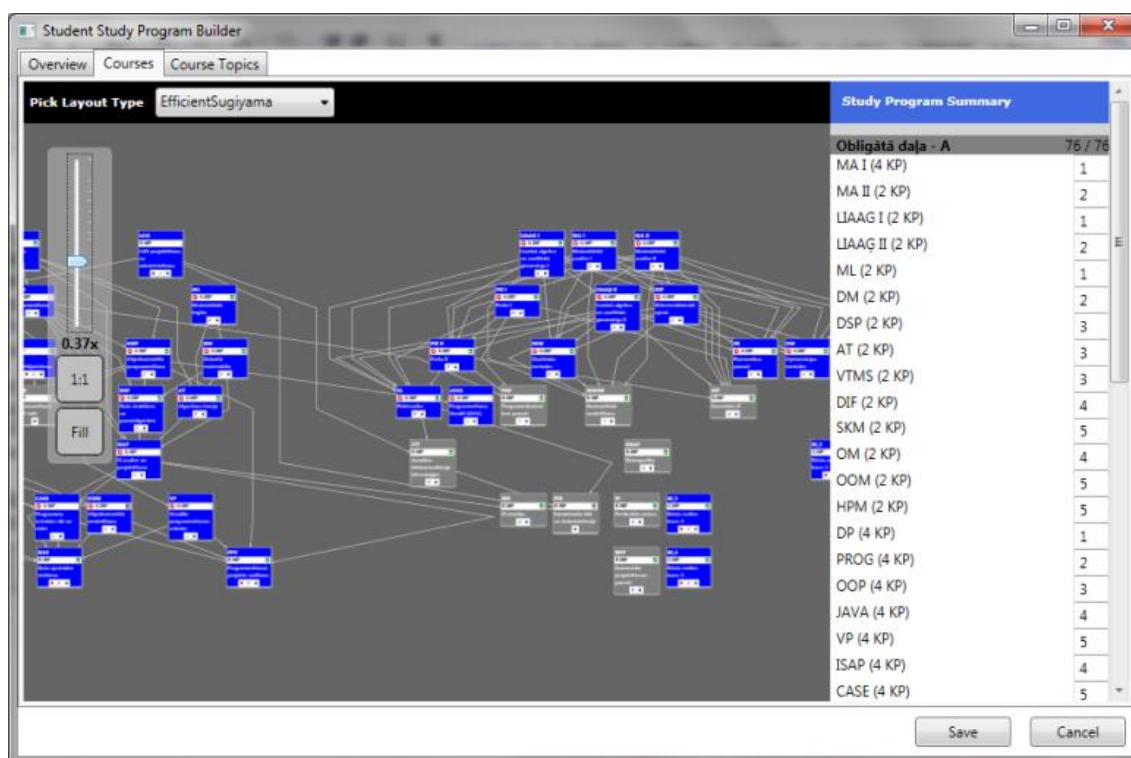
Base Information	Study Program Summary
<b>Student:</b> Andris Kalnozols (M2) <b>Study Program:</b> Akadēmiskā bakalaura studiju programma "Datorzinātnes" <b>Description:</b> Tās mērķis ir sagatavot augstas kvalifikācijas speciālistus datorzinātnēs ar fundamentālām zināšanām datorzinātnju jomā, augstākajā matemātikā un inženierzinātnju pamatos, kas ļautu patstāvīgi piemēroties profesionālai darbībai mainīgos darba tirgus apstākļos, kā arī sagatavot studējošos turpmākām studijām augstāka līmeņa profesionālajās programmās un maģistrantūrā, zinātniskajai darbībai un tālākai pašizglītībai.	<b>Obligātā daļa - A</b> 76 / 76 MA I: Matemātikā analīze I (Eksāmens, 0 semester) 4 KP MA II: Matemātikā analīze II (Eksāmens, 0 semester) 2 KP LIAAG I: Lineārā algebra un analītiskā geometrija I (Eksāmens, 0 semester) 2 KP LIAAG II: Lineārā algebra un analītiskā geometrija II (Eksāmens, 0 semester) 2 KP ML: Matemātikā loģika (Eksāmens, 0 semester) 2 KP DM: Diskrētā matemātika (Eksāmens, 0 semester) 2 KP DSP: Datu struktūras un pamatalgoritmi (Eksāmens, 0 semester) 2 KP AT: Algoritmu teorija (Eksāmens, 0 semester) 2 KP VTMS: Varbūtību teorija un matemātikā statistika (Eksāmens, 0 semester) 2 KP DF: Diferenciālvienādojumi (Eksāmens, 0 semester) 2 KP SKM: Skaitliskās metodes (Eksāmens, 0 semester) 2 KP OM: Optimizācijas metodes (Eksāmens, 0 semester) 2 KP OOM: Objektorientētā modelēšana (Eksāmens, 0 semester) 2 KP HPM: Haotisko procesu modelēšana (Eksāmens, 0 semester) 2 KP DP: Datorzinātnju pamati (Eksāmens, 0 semester) 4 KP PROG: Programmēšana (Eksāmens, 0 semester) 4 KP OOP: Objektorientētā programmēšana (Eksāmens, 0 semester) 4 KP JAVA: Programmēšana tīmeklī (JAVA) (Eksāmens, 0 semester) 4 KP VP: Vizūālās programmēšanas valodas (Eksāmens, 0 semester) 4 KP ISAP: IS analīze un projektēšana (Eksāmens, 0 semester) 4 KP CASE: Programmu izstrādes rīki un vides (Eksāmens, 0 semester) 4 KP ENG I: Angļu valoda I (Ieskaite, 0 semester) 2 KP ENG II: Angļu valoda II (Eksāmens, 0 semester) 2 KP UZN: Uzņēmējdarbības pamati (Eksāmens, 0 semester) 2 KP EK: Ekonomikas pamati (Eksāmens, 0 semester) 2 KP NTP: Nozares tiesību pamati (Eksāmens, 0 semester) 2 KP FIZ I: Fizika I (Eksāmens, 0 semester) 2 KP FIZ II: Fizika II (Eksāmens, 0 semester) 2 KP EL: Elektronika (Eksāmens, 0 semester) 4 KP <b>Nozares obligātās izvēles kursi - B</b> 0 / 38 <b>Brīvās izvēles kursi - C</b> 0 / 6 <b>Total Range:</b> 76 / 120

4.3. att. Individualizētu studiju plānošanas logs (cilne — Pārskats)

### 3. Individualizētu studiju plānošanas logs sastāv no 3 cīlnēm:

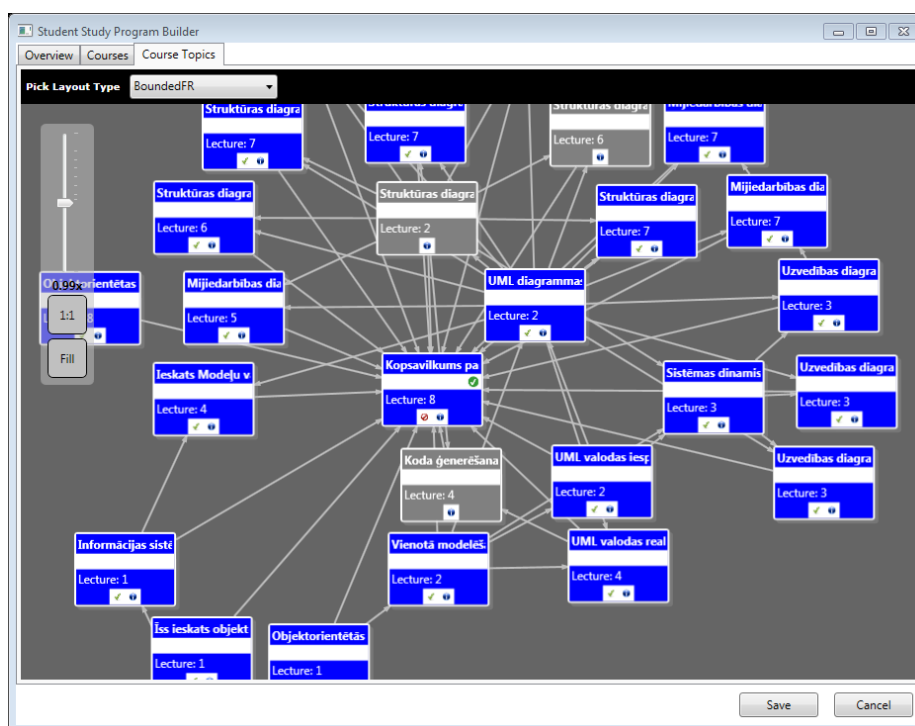
- **pārskats (Overview)** — 4.3. attēla kreisās puses datu panelī ir parādīts vispārējs studiju programmas apraksts, savukārt labās puses datu panelī ir attēloti izvēlētie studiju plāna kursi un katra kursa kredītpunkti;
- **kursi (Courses)** — 4.4. attēlā individualizētu studiju plānu veidošanas logs parāda studiju plāna kursu secību grafa veidā. Studiju plāna attēlošanai piedāvā 8 grafa attēlošanas veidus, ko atbalsta *Graph# – Graph# – BoundedFR*, *Circular* [112], *EfficientSugiyama* [113], *Fruchterman-Reingold – FR* [97], *ISOM*, *Kamada – Kawai – KK*, *LinLog* un *Tree*. Autore iesaka *EfficientSugiyama* atspoguļošanas veidu kā pamatveidu, bet lietotājs to var mainīt, vadoties un izvēloties kādu atspoguļošanas veidu pēc saviem ieskatiem.

4.4. attēlā labajā pusē ir individualizēta studiju plāna kursu uzskaitījums. Sākotnēji šajā panelī ir parādīti tikai obligātie studiju kursi, savukārt nozares obligātās izvēles (ierobežotās izvēles) kursu daļā un brīvās izvēles kursu daļā nav kursu. Apmācāmajam pašam ir jāaizpilda šīs divas daļas ar interesējošiem kursiem. Apmācāmais kurss studiju plāna panelī pievieno no studiju kursu grafa. Zilā krāsā iekrāsotās virsotnes nozīmē to, ka šie kursi ir pievienoti apmācāmā individuālajam studiju plānam, savukārt pelēkā krāsā iekrāsotās kursu virsotnes nozīmē, ka šis kurss nav pievienots. Norādot uz studiju kursu savienojošo loku ar peles kursoru, tiek izvadīts informācijas logs, kas parāda, kuri kursi ar šo loku ir saistīti. Norādot uz studiju kursu ar peles kursoru, sarkanā krāsā iezīmējas priekšteču loki, bet zilā krāsā pēcteču loki.



4.4. att. Studiju kursu grafa attēlošana

- **kursa tēmas (Course Topics)** — izvada studiju kursa tēmu secību grafa veidā (4.5. att.).



4.5. att. Studiju kursa tēmu apguves secības noteikšanas logs

Apmācāmais izvēlas grafa attēlošanas veidu. 4.5. attēlā grafa virsotnes ir studiju kursa tēmas, savukārt loki starp virsotnēm norāda tēmu priekšteču un pēcteču attiecības. Norādot kursa tēmas loku ar peles kursoru, tiek izvadīts informācijas logs, kur redzams, kādas tēmas ir saistītas ar šo loku. Norādot ar peles kursoru kursa tēmu, sarkanā krāsā iezīmējam priekšteču loki, bet zilā krāsā pēcteču loki. Tēmas informācijas logs satur ne tikai informāciju par tēmu un tās saturu, bet arī par kursiem, kuros tēma tiek apgūta, priekšnosacījuma tēmām, pēcnosacījuma tēmām un mācību objektiem. Šis logs paredzēts mācīšanās mērķiem. Aktivizējot tēmas informācijas logā cilni *Course Topic Structures*, tiek pārādīti izvēlētās tēmas mācību objekti, kas atbilst grafam  $G_4$ .

Par grafa  $G_3$  veidošanu tiks runāts promocijas darba 4.3.1. apakšnodaļā.

#### 4.1.3. Individualizētu studiju plānošanas sistēmas prototipa aprobācijas scenāriji

Individualizētu studiju plānošanas sistēmas prototipa aprobācija ir realizēta, izmantojot divas pieejas: prototipa darbības pārbaude, izmantojot četrus scenārijus un individualizētu studiju plānošanas pieejas pārbaude, izvērtējot ekspertu vērtējumus.

**Prototipa darbības pārbaude, izmantojot četrus scenārijus.** Lai aprobētu individualizētu studiju plānošanas sistēmas prototipa darbību, ir piedāvāti četri aprobācijas scenāriji:

- 1) studiju plāna veidošana, studiju kursa tēmu mācīšanās secības noteikšana un mācību objektu izvēle.

- 2) mācību moduļu veidošana mūžizglītības kursiem, tēmu apguves secības noteikšana un mācību objektu izvēle.
- 3) studiju plāna izveide pēc apmācāmā dalības mobilitātes programmā, tēmu mācīšanās secības noteikšana un mācību objektu izvēle.
- 4) studiju plāna konstruēšana pēc kredītpunktu atzīšanas vai pēc pārnākšanas no citas augstskolas, vai citas studiju programmas, tēmu mācīšanās secības noteikšana un mācību objektu izvēle.

Visi izvirzītie scenāriji tika veiksmīgi aprobēti un iegūts rezultāts:

**1. scenārija aprobācijas rezultāts.** Rīkā *SPS.StudentsStudyProgramBuilder* izveidota individualizēts studiju plāns, kas vizualizēts grafa veidā, un izvēlēti dažādi mācību objekti.

**2. scenārija aprobācijas rezultāts.** Rīkā *SPS.StudentsStudyProgramBuilder* izveidots individualizēts mūžizglītības studiju plāns, kas ir attēlota grafa veidā, izvēlēta tēmu apguves secība, tēmas attēlotas grafa veidā un izvēlēti dažādi mācību objekti.

**3. scenārija aprobācijas rezultāts.** Rīkā *SPS.StudentsStudyProgramBuilder* apmācāmajam ir pārskaitīti kursi mobilitātes ietvaros.

**4. scenārija aprobācijas rezultāts.** Rīkā *SPS.StudentsStudyProgramBuilder* izveidota individualizēts studiju plāns, kurš vizualizēts grafa veidā.

**Individualizētu studiju plānošanas pieejas pārbaude, izvērtējot ekspertu vērtējumus.**

**Aprobācijas mērķis:** Iepazīstināt ekspertus ar individualizētu studiju plānošanas pieeju un individualizētu studiju plānošanas sistēmas SPS prototipu, lai iegūtu atsauksmes un novērtējumu.

**Aprobācijas realizācija:** Izvēlēties piecus ekspertus, starp kuriem ir bakalaura, maģistra un doktora studiju programmas studenti, pasniedzēji, pētnieki un studiju programmas direktori. Turklāt ekspertiem ir jāpārstāv dažādas augstākās izglītības iestādes, studiju programmas un nozares.

Katrs no ekspertiem ir iepazīstināts ar individualizētu studiju plānošanas pieeju un individualizētu studiju plānošanas sistēmas SPS prototipu.

**Secinājumi:** Kopumā eksperti pozitīvi novērtēja individualizētu studiju plānošanas pieeju. Visi eksperti kā pieņemamāko studiju plāna, kursu un konceptu kartes attēlošanas veidu atzīmē grafu, viens eksperts vēl papildus atzīmē, ka „ne visi vēl ir gatavi ar tiem strādāt”. Tāpat visi eksperti ir vienprātis, ka bez mācību stila noteikšanas būtu daudz grūtāk saprast, kuru mācību objektu izvēlēties no mācību objektu saraksta. Ekspertiem nebija grūti izveidot individuālu studiju plānu, pieņemt lēmumu par to kādus kursus iekļaut studiju plānā, jo kursu secībā palīdzēja orientēties saites starp kursiem. Visi eksperti atzīst, ka vēlētos izmantot individualizētu studiju plānošanas sistēmu, kura realizēta pamatojoties uz prototipu SPS, lai veiktu individualizētu studiju plānošanu.

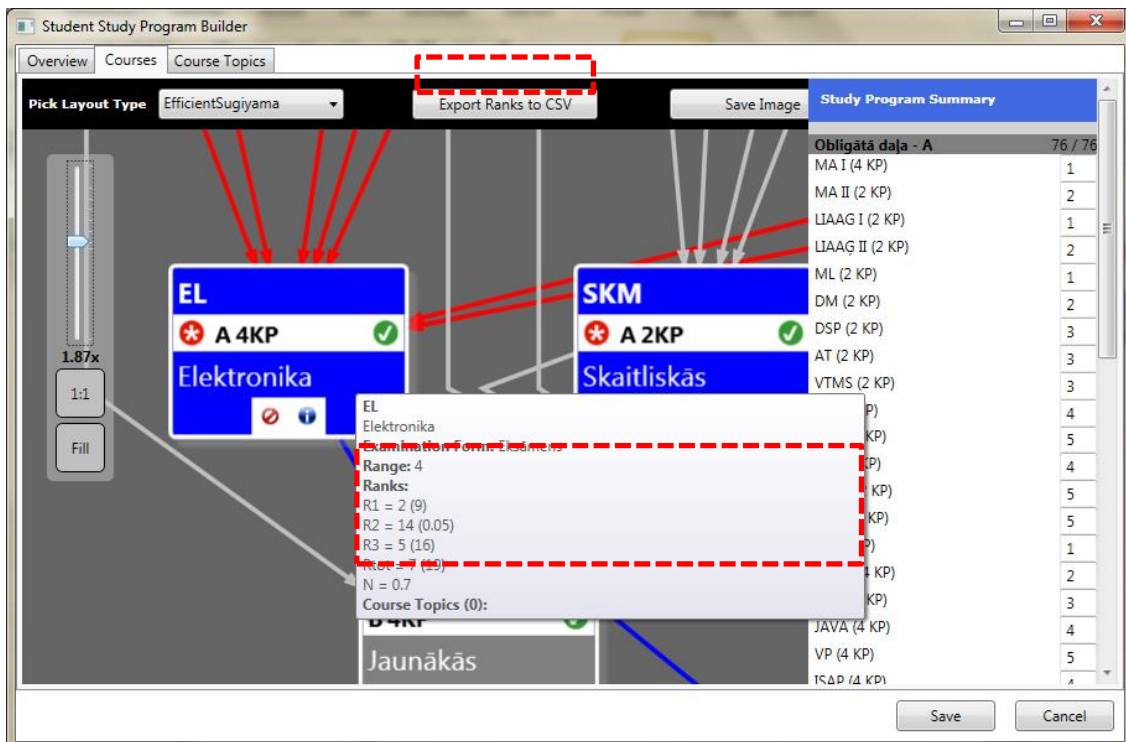
Nākamajā apakšnodaļā ir dota studiju plāna, studiju kursa satura un konceptu kartes grafa struktūras analīze realizācija prototipā SPS.

## 4.2. Rangu aprēķināšanas realizācija individualizētu studiju plānošanas sistēmā SPS

Lai izanalizētu studiju plāna un studiju kursa tēmu grafu struktūru individualizētu studiju plānošanas sistēmā SPS, katrai grafa virsotnei ir aprēķināti rangi. Konceptu kartei rangi ir aprēķināti atsevišķi, jo konceptu karte ir realizēta, izmantojot IKAS sistēmu. Studiju plāna struktūras analīzei ir izmantota individualizētu studiju plānošanas sistēmā SPS izveidotā bakalaura studiju programma „Datorzinātnes” [114]. Individualizētu studiju plānošanas sistēmas SPS rīka *SPS.StudentsStudyProgramBuilder* cilnē *Courses*, ar peles kursoru norādot studiju kursu, tiek izvadīts informācijas logs (4.6. att.), kurš parāda:

- rangu pēc virsotņu lokālās pakāpes  $R^1_{LP}$  (4.6. attēlā apzīmēts kā R1);
- rangu pēc ceļu skaita grafā, kas satur doto virsotni  $R^1_{CE}$  (4.6. attēlā apzīmēts kā R3);
- rangu pēc sasniedzamo virsotņu skaita  $R^2_{CE}$  (4.6. attēlā apzīmēts kā R2);
- virsotņu kopējo rangu  $R_{tot}$  (4.6. attēlā apzīmēts kā Rtot);
- virsotņu strukturālo nozīmību  $N(i)$  (4.6. attēlā apzīmēts kā N).

Strukturmodelēšanā, iegūstot rangus, ņem vērā kopējo rangu, nevis analizē atsevišķi [88]. Šajā promocijas darbā katrs rangs tiek analizēts atsevišķi. Šādā veidā var atsevišķi iegūt informāciju par katra studiju kursa rangiem, bet, lai iegūtu kopskatu par visiem studiju kursiem un aprēķinātām rangu vērtībām, tad individualizēta studiju plāna kursu logā jāaktivizē poga <Export Ranks to CSV> (4.6. att.), kas eksportē rangu vērtības uz programmas Microsoft (MS) Excel failu.



4.6. att. SPS rīkā *SPS.StudentsStudyProgramBuilder* aprēķinātie rangi [115, 116]

Strukturālās nozīmības vērtības aprēķins studiju plāna grafā  $G_1$  palīdz sadalīt studiju kursus pa programmas daļām, t. i., studiju kursus ar augstām strukturālās nozīmības vērtībām var pievienot pie A daļas, ar zemām vērtībām pie C daļas un atlikušos kursus, kas atrodas pa vidu, pie B daļas. Lai noteiktu robežas, cik daudz kursus ietvert katrā programmas daļā, tad jāņem vērā katras programmās attiecīgajā daļā noteikto KP apjomu.

Studiju kursa tēmu grafa struktūras analīzei ir izmantots studiju kurss „Objektorientētā modelēšana”. Lai analizētu studiju kursa tēmu grafa struktūru, jārikojas tāpat kā analizējot studiju plāna grafu. Nozīmīgāko elementu noteikšana grafā  $G_2$  ir nepieciešama, lai pasniedzējam palīdzētu pieņemt lēmumus par to, kādas tēmas iekļaut eksāmenā. Gatavojot eksāmena jautājumus, pasniedzējs var piešķirt katram eksāmena jautājumam punktus, kas veido vērtējumu, un arī šajā gadījumā nozīmīgāko elementu noteikšana palīdz pieņemt lēmumu, cik daudz punktu piešķirt katram jautājumam, vislielāko punktu skaitu piešķirot nozīmīgākām tēmām. Nozīmīgāko tēmu noteikšana pasniedzējam palīdz arī gatavojot mācību materiālu, jo pasniedzējs var pievērst vairāk uzmanības, lai sagatavotu tēmas, kurām ir augsta nozīmība.

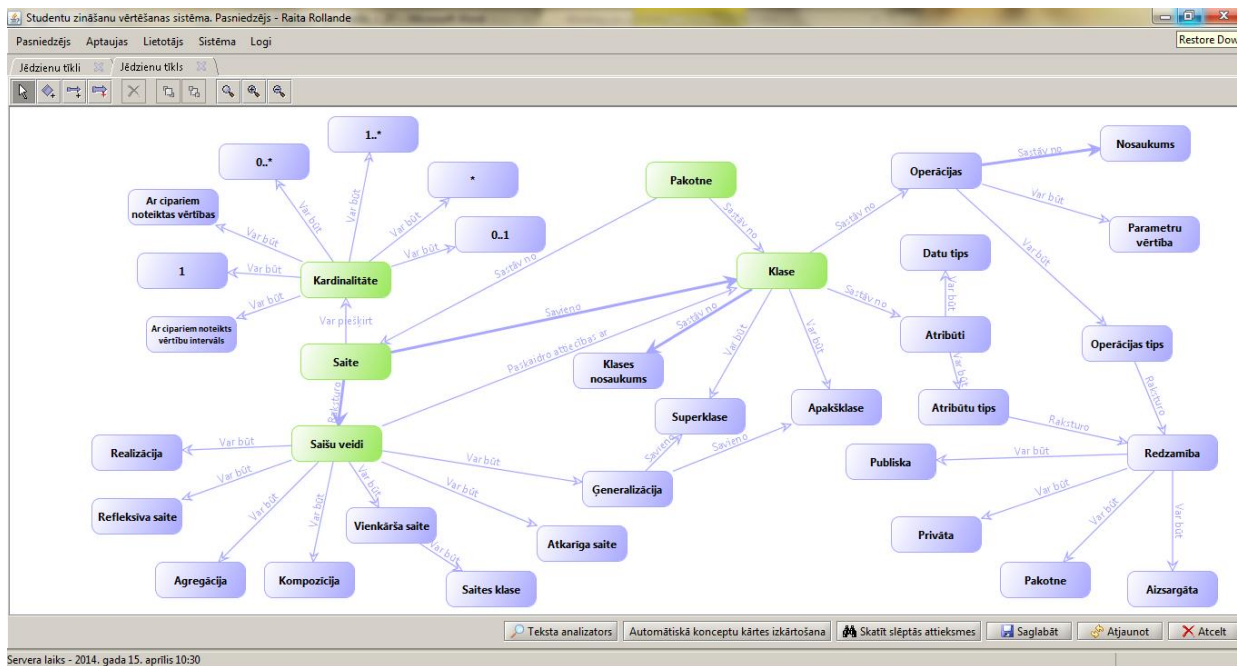
Konceptu kartes struktūras analīzei ir izmantoti tēmas „Klašu diagrammas komponentes” koncepti. Nozīmīgāko konceptu noteikšana palīdz pasniedzējam zināšanu vērtēšanā, veidojot konceptu karti. Salīdzinot apmācāmā veidoto konceptu karti ar pasniedzēja definēto konceptu karti, ieteicams ņemt vērā virsotņu nozīmīgumu. Tas nozīmē, ka vairāk punktu vērtējumā jāpiešķir, ja apmācāmais pareizi ir identificējis nozīmīgāku konceptu un tā attieksmes ar citiem konceptiem, nekā mazāk nozīmīgu konceptu.

### **4.3. Individualizētu studiju plānošanas sistēmas integrācijas iespējas ar citām mācību sistēmām**

Šajā apakšnodaļā ir aprakstītas individualizētu studiju plānošanas sistēmas kā IMS-as pedagoģiskā moduļa sastāvdaļas integrācijas iespējas ar citām mācību sistēmām, no kurām ir izvēlētas divas: uz konceptu kartēm balstīta zināšanu vērtēšanas sistēma — IKAS [117] un mācīšanās vide Moodle.

**Integrācijas iespējas ar IKAS.** IKAS ir izvēlēta, lai iegūtu grafu  $G_3$ , jo promocijas darbā izstrādātais individualizētu studiju plānošanas ietvars ir kā papildinājums IKAS pedagoģiskajam modulim. 4.7. attēlā ir parādīta pasniedzēja piekļuves režīmā izveidota konceptu karte tēmai „Klašu diagrammas komponentes”. Konceptu kartē pavisam kopā ir 35 koncepti. Pamatojoties uz konceptu kartes struktūras analīzi, ir definēti sākotnējie koncepti. Pārējie koncepti apmācāmajam jāievieto pašam. Apmācāmais aizpilda konceptu karti ar zemāk parādītajiem konceptiem un tos savieno. Lai izprastu konceptu, apmācāmais var izsaukt palīdzības logu, kur var redzēt koncepta definīciju, aprakstu un piemēru. Kad apmācāmais ir aizpildījis konceptu karti, tiek izvadīts detalizēts apmācāmā konceptu kartes veidošanas novērtējums.

Individualizētu studiju plānošanas sistēmas prototips SPS neietver apmācāmo zināšanu pārbaudi, ko savukārt realizē IKAS. Līdz ar to apmācāmais individualizētu studiju plānošanas sistēmā var izveidot savu studiju plānu, noteikt, kādā kārtībā apgūs tēmas un pēc tam ar IKAS izvēlēties konceptus, SPS apgūt mācību objektus un atgriezties IKAS, lai veiktu zināšanu pārbaudi. Pēc zināšanu pārbaudes apmācāmais atzīmē individualizētu studiju plānošanas sistēmā, ka tēma ir apgūta, un uzsāk apgūt nākamo tēmu. Apmācāmais tā turpina darbības, līdz ir apgūtas visas studiju kursa tēmas un turpina šo procesu līdz apgūts viss studiju plāns.



4.7. att. IKAS sistēmas pasniedzēja piekļuves režīmā izveidota konceptu karte tēmai „Klašu diagrammas komponentes”

**Integrācijas iespējas ar Moodle.** Kā otra sistēma prototipa integrēšanas iespēju analizēšanai ir izvēlēta Moodle, jo to lieto Latvijas augstskolās, kā arī dažādos mācību centros. Latvijā to izmanto 97 organizācijas. Kopumā šo mācīšanās vidi 232 valstīs izmanto 79 438 organizācijas. Kopējais reģistrēto lietotāju skaits pasaulē ir 68 037 647 [118]. Moodle atbalsta SCORM [119] standartu un citus formātus, kas nodrošina, ka ar Moodle radīts saturs ir iekļaujams atšķirīgās kursu pārvaldīšanas sistēmās.

Viena no svarīgākajām mācīšanās vides Moodle funkcijām ir mācības kursu veidošana. Mācību kursu veidošana satur moduļus. Vairāk par moduļu darbību var uzzināt avotā [118]. Kursa satura izveidē visbūtiskākais modulis ir nodarbības modulis — tas ļauj vairākas kursa lapas izkārtot dažādos mācību ceļos. Mācību ceļa izvēli nosaka atbildes, kuras apmācāmais sniedz uz kontroljautājumiem vai arī apmācāmais vienkārši izvēlas mācību ceļu.

Moodle nepiedāvā apmācāmajam izveidot studiju plānu (atbilstoši  $G_1$ ), neļauj definēt studiju kursa struktūru (atbilstoši  $G_2$ ), kā arī neīsteno konceptu kartes (atbilstoši  $G_3$ ), bet Moodle piedāvā aprakstīt mācību objektus (atbilstoši  $G_4$ ) un veikt zināšanu pārbaudi.

## 4.4. Kopsavilkums un secinājumi

Šajā promocijas darba nodaļā ir aprakstīts prototips individualizētu studiju plānošanas sistēmas realizācijai, tā arhitektūra un aprobācijas scenāriju rezultāti.

Galvenie secinājumi ir šādi:

- *SPS* realizācija parāda, ka šādu prototipu iespējams izstrādāt ar *Microsoft.NET Framework 4.5* programmatūras izstrādes platformu [103, 104]. Kā datubāzes pārvaldības sistēma lokālai datubāzei ir izmantojama *SQL Server 2012 Express LocalDB* [108]. Tā kā *SPS* neizmanto *SQL Server 2012 Express LocalDB* iespējas, risinājumu var izmantot arī ar citām *SQL Server* versijām [109]. Prototips ir izstrādāts ar *Visual Studio 2012* programmatūras izstrādes rīku [110]. Lai implementētu operācijas ar grafiem un grafu vizualizāciju, kā piemērots risinājums ir atvērtā koda programmatūras bibliotēkas *QuickGraph* [111] un *Graph#* [92].
  - Sistēmas darbība ir veiksmīgi pārbaudīta ar četriem aprobācijas scenārijiem:
    - studiju plāna veidošana, studiju kursa tēmu mācīšanās secības noteikšana un mācību objektu izvēle;
    - mācību moduļu veidošana mūžizglītības kursiem, tēmu apguves secības noteikšana un mācību objektu izvēle;
    - studiju plāna izveide pēc apmācāmā dalības mobilitātes programmā, tēmu mācīšanās secības noteikšana un mācību objektu izvēle;
    - studiju plāna konstruēšana pēc kredītpunktu atzīšanas vai pēc pārnākšanas no citas augstskolas vai citas studiju programmas, tēmu mācīšanās secības noteikšana un mācību objektu izvēle.
  - Aprobācijas rezultātā ir parādīts, ka:
    - rīks *SPS.StudentsStudyProgramBuilder* nodrošina studiju plāna izveidi, studiju kursa tēmu mācīšanās secības noteikšanu un mācību materiālu apgūšanu;
    - rīks *SPS.StudentsStudyProgramBuilder* nodrošina mācību moduļu izstrādi mūžizglītības kursiem, tēmu mācīšanās secības noteikšanu un mācību materiālu apgūšanu;
    - rīks *SPS.StudentsStudyProgramBuilder* nodrošina studiju plāna izveidi apmācāmajiem pēc dalības mobilitātes programmā izveidošanu, tēmu mācīšanās secības noteikšanu un mācību materiālu apgūšanu;
    - rīks *SPS.StudentsStudyProgramBuilder* nodrošina studiju plāna konstruēšanu pēc kredītpunktu atzīšanas procedūras veikšanas jeb pēc pārnākšanas no citas augstskolas vai citas studiju programmas, tēmu mācīšanās secības noteikšanu un mācību materiālu apgūšanu.
  - Ir iespējams integrācijas risinājums ar IKAS un Moodle sistēmām.
- Jaunie praktiskie rezultāti:
- Ir izstrādāts individualizētu studiju plānošanas sistēmas prototips *SPS*;
  - Prototips ir aprobēts un parādīts, ka tas veic galvenās definētās funkcijas.

## GALVENIE REZULTĀTI UN SECINĀJUMI

Promocijas darba mērķis ir piedāvāt individualizētas studiju plānošanas ietvaru, lai apmācāmais ne tikai varētu konstruēt savu individuālo mācību scenāriju, bet arī noteikt nozīmīgākos kursus, tēmas un tām atbilstošos konceptus, kā arī ietvaru praktiski realizēt kā individualizētas studiju plānošanas sistēmas prototipu un veikt tā pārbaudi.

Promocijas darba mērķa sasniegšanai ir izvirzīt šādi uzdevumi:

- izanalizēt mācību sistēmu attīstības evolūciju;
- veikt intelektuālu mācību sistēmu (IMS) arhitektūru un pedagoģisko moduļu analīzi, lai noskaidrotu to sastāvdaļas;
- izpētīt eksistējošas individualizētu studiju plānošanas sistēmas, lai noskaidrotu to iespējas un trūkumus;
- izstrādāt individualizētas studiju plānošanas ietvaru, kas ļauj izveidot studiju plānu, definēt studiju kursa struktūru, izveidot studiju kursa tēmu konceptu karti un katrai tēmai izvēlēties mācību objektus, kā IMS pedagoģiskā moduļa sastāvdaļu;
- pārbaudīt struktūrmodelēšanas pieejas iespējas kursu, tēmu un konceptu nozīmības noteikšanā individualizētu studiju plānošanā un noteikt nozīmīgākos kursus, tēmas un konceptus;
- izstrādāt individualizētu studiju plānošanas sistēmas prototipu un veikt tā darbības pārbaudi.

Pētījuma rezultātā ir izdarīti šādi secinājumi:

- analizējot mācību sistēmu evolūciju un izglītības sfēras plānošanas dokumentus, ir secināts, ka mācību sistēmu attīstība virzās uz individualizētu mācību procesu. Lai to panāktu, ir nepieciešams nodrošināt iespējas individualizēt studijas, ietverot individualizēta studiju plāna, studiju kursa struktūras, tēmu konceptu kartes un atbilstošo mācību objektu izveidi.
- analizējot esošās IMS-u arhitektūras, ir definētas pamatnostādnes jaunas individuālu studiju plānošanas sistēmai, kas:
  - ļauj apmācāmajam individualizēt studiju procesu;
  - attēlo studiju plāna un studiju kursus grafa veidā;
  - nosaka studiju kursiem priekšnosacījumu kursus, lai apmācāmais pats izveidotu studiju plānu, pamatojoties uz priekšnosacījumu ierobežojumiem;
  - definē studiju kursu tēmām priekšnosacījumu tēmas, lai apmācāmais varētu izvēlēties tēmu apguves secību;
  - studiju kursa tēmai atbilstošos konceptus attēlo konceptu kartes veidā;
  - parāda studiju kursu tēmu un konceptu apguves iespējas mācību objektu veidā.
- individualizētu studiju plānošanu realizē ar savstarpēji saistītu četru grafu kopu.

Risinot identificētos uzdevumus, promocijas darbā ir sasniegti šādi galvenie jaunie teorētiski rezultāti:

- izstrādāta un aprakstīta pieeja intelektuālās mācību sistēmas pedagoģiskā moduļa sastāvdaļas realizācijai, kas pamatojas uz vienā sistēmā apvienotu četru grafu kopu, un nodrošina kompleksu pieeju individualizētu studiju plānošanai;
- izstrādāts un aprakstīts individualizētu studiju plānošanas ietvars, kurš ir pielietojams augstskolās individualizētu studiju plānošanai parastā mācību formā, pēc apmācāmā dalības mobilitātes programmā, pēc iepriekšējā izglītībā vai profesionālajā pieredzē sasniegtu studiju rezultātu atzišanas, pēc pārnākšanas no citas studiju programmas vai pēc studiju atsākšanas, kā arī mūžizglītībā, konstruējot uz moduļiem balstītus apmācības kursus;
- ir pamatota struktūrmodelēšanas metodes izmantošanas lietderība individualizētu studiju plānošanas ietvara trīs grafu — studiju plāna, studiju kursu un konceptu kartes analīzei, kas atbalsta studiju plāna izstrādi un izmaiņu ieviešanu, un ir piedāvāts jauns risinājums virsoņņu strukturālās nozīmības vērtību aprēķināšanai.

Iegūtie teorētiskie rezultāti praktiski ir realizēti individualizētu studiju plānošanas sistēmas SPS prototipā, kura darbība ir aprobēta četros scenārijos. Ir veikta arī individualizētu studiju plānošanas pieejas aprobācija, izvērtējot piecu ekspertu atsauksmes. Prototipa aprobācijas rezultātā ir parādīts, ka sistēma veic tai definētos uzdevumus.

SPS prototipu lietderīgi izmantot augstākās izglītības un mūžizglītības institūcijās, lai realizētu individualizētu studiju plānošanu. Tas paredzēts galvenokārt tālmācībai. Promocijas darba autore piedāvātais individualizētu studiju plānošanas sistēmas prototips ir paredzēts apmācāmajiem, kuri studē tādos studiju virzienos, kur nav nepieciešams izmantot izglītības iestādes resursus — auditorijas un dažādas laboratorijas. SPS prototips ietver:

- studiju plāna izveidošanu, izmantojot grafu attēlojumu, kur var veikt:
  - studiju plāna konstruēšanu;
  - mācību moduļu izveidošanu mūžizglītības kursiem;
  - studiju plāna konstruēšanu pēc apmācāmā dalības mobilitātes programmā;
  - studiju plāna izstrādi pēc kredītpunktu atzišanas;
  - studiju plāna konstruēšanu pēc pārnākšanas no citas augstskolas vai citas studiju programmas.
- studiju kursa tēmu apguves secības noteikšanu.

Turpmāko pētījumu virzieni:

- praktiski veikt individualizētu studiju plānošanas sistēmas SPS integrāciju ar IKAS un Moodle;
- izpētīt un novērtēt individualizētu studiju plānošanas sistēmas SPS integrācijas iespējas ar citām mācību sistēmām;
- paplašināt izstrādātā risinājuma arhitektūru, lai integrētu citus IMS-u moduļus kā, piemēram, studenta moduli un problēmvides moduli.

## LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] Latvijas Republikas Centrālā statistikas pārvalde, Latvijas Statistika, 1999. Pieejams: <http://www.csb.gov.lv>. [Apmeklēts 29.05.2012].
- [2] Nwana H. S. Intelligent Tutoring Systems: An Overview, *Artificial Intelligence Review* 4, pp. 251–277, 1990.
- [3] Nkambou R., Bourdeau J., Mizoguchi R., *Advances in Intelligent Tutoring Systems*, Berlin: Springer, 2010.
- [4] BBC, BBC News. Pieejams: <http://www.bbc.co.uk/news/education-20498356>. [Apmeklēts 11.04.2013].
- [5] Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija, *Latvija 2030*, 2008. Pieejams: [http://www.latvija2030.lv/upload/latvija2030\\_lv.pdf](http://www.latvija2030.lv/upload/latvija2030_lv.pdf). [Apmeklēts 25.03.2013].
- [6] The Council Of The European Union, Council conclusions on the modernisation of higher education, *Official Journal of the European Union*, pp. 36–41, 2011.
- [7] The Council Of The European Union, Council Conclusions on investing in education and training — a response to ‘Rethinking Education: Investing in skills for better socio-economic outcomes’ and the ‘2013 Annual Growth Survey’, *Official Journal of the European Union*, pp. 5–8, 2013.
- [8] Ministru kabinets, Par programmu “Informācijas un komunikācijas tehnoloģijas izglītības kvalitātei” 2007.–2013. gadam, *Latvijas Vēstnesis*, Latvija, nr. 170(3538), oktobris, 2006.
- [9] Finland Ministry of Education and Culture, *Education and Research 2011–2016*, Government, Finland, 2012.
- [10] Geer R., Sweeney T., Students' Voices about Learning with Technology, *Journal of Social Sciences*, vol. 8, no. 2, p. 294, 2012.
- [11] Ministru kabinets, Ministru kabineta noteikumi Nr. 36 "Iepriekšējā izglītībā vai profesionālajā pieredzē sasniegtu studiju rezultātu atzīšanas noteikumi", Rīga, Latvija, 2012. Pieejams: [www.likumi.lv](http://www.likumi.lv) [Apmeklēts 08.03.2014].
- [12] Latvijas Republikas Saeima, Augstskolu likums, *Latvijas Vēstnesis*, Rīga, Latvija, 1995.
- [13] Latvijas Republikas Ekonomikas ministrija. Pieejams: [http://www.em.gov.lv/images/modules/items/tsdep/darba\\_tirgus/EMZino\\_21062013.pdf](http://www.em.gov.lv/images/modules/items/tsdep/darba_tirgus/EMZino_21062013.pdf). [Apmeklēts 13.08.2013].
- [14] European Commission, Cultural Heritage and Technology Enhanced Learning, Community Research and Development Information Service, 31.07.2012. Pieejams: [http://cordis.europa.eu/fp7/ict/telearn-digicult/telearn\\_en.html](http://cordis.europa.eu/fp7/ict/telearn-digicult/telearn_en.html). [Apmeklēts 10.03.2013].
- [15] Urban-Lurain M., *Intelligent Tutoring Systems: An Historic Review in the Context of the Development of Artificial Intelligence and Educational Psychology*, 1999. Pieejams: <http://www.cse.msu.edu/rgroups/cse101/ITS/its.htm>. [Apmeklēts 12.02.2013].
- [16] Wenger E., *Artificial intelligence and tutoring systems: computational and cognitive approaches to the communication of knowledge*, San Francisco: Morgan Kaufmann, 1987.
- [17] Shute V. J., Psotka J., *Intelligent Tutoring Systems: Past, Present and Future*, Human resources directorate manpower and personnel research division., pp. 570–600, 1994.
- [18] Chakraborty S., Roy D., Basu A., *Development of Knowledge Based Intelligent Tutoring System*, *Advanced Knowledge Based Systems: Model, Applications & Research*, vol. 1, pp. 74–100, 2010.
- [19] Limongelli C., Sciarrone F., Temperini M., Vaste G., *Lecomps5: A Web-Based Learning System For Course Personalization And Adaptation*, IADIS International Conference on e-Learning, Amsterdam, The Netherlands, pp. 325–332, 2008.
- [20] Marquez J. M., Ortega J. A., Gonzalez-Abril L., Velasco F., *Defining Adaptive Learning Paths For Competence-Oriented Learning*, IADIS International Conference on e-Learning, Amsterdam, The Netherlands, pp. 403–410, 2008.
- [21] Felder R. M., Silverman L. K., *Learning and Teaching Styles in Engineering Education*, *Engineering Education*, vol. 78, no. 7, pp. 674–681, 1988.
- [22] Montgomery M., Groat L. N., *Students' Learning Styles and Their Implications for Teachers*, CRLT Occasional Paper No. 10, University of Michigan, Center for Research on Learning and Teaching, pp. 1–8, 1998.
- [23] Lathama A., Crockett K., McLeana D., Edmonds B., *A conversational intelligent tutoring system to automatically predict learning styles*, *Computers & Education*, vol. 59, no. 1, pp. 95–109, 2012.

- [24] Graf S., Kinshuk, Q. Z., Maguire P., Shtern V., An Architecture for Dynamic Student Modelling of Learning Styles in Learning. Systems and its Application for Adaptivity, IADIS International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age, Timisoara, Romania, pp. 103–111, 2010.
- [25] Rajamenakshi R., Pal S., E-learning: state of art survey, analysis and recommendations towards user personalized e-learning framework, IADIS International Conference on e-Learning, Amsterdam, The Netherlands, pp. 128–133, 2008.
- [26] Kerdprasop K., Kerdprasop N., A rough set approach to personalization in web-based learning systems, IADIS International Conference on e-Learning, Amsterdam, The Netherlands, pp. 60–67, 2008.
- [27] Anohina A., Grundspenkis J., A Concept Map Based Intelligent System for Adaptive Knowledge Assessment. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications* (O. Vasilecas et al., eds.), vol. 155, Databases and Information Systems IV, Amsterdam, pp. 263–276, 2007.
- [28] Grundspenkis J., Development of Concept Map Based Adaptive Knowledge Assessment System, IADIS International Conference e-Learning 2008. vol. 1, Amsterdam, pp. 395–402, 2008.
- [29] Grundspenķis J., Anohina A., Agents in Intelligent Tutoring Systems: State of the Art, *Scientific Proceedings of Riga Technical University, 5<sup>th</sup> series, Computer Science, Applied Computer Systems*, vol. 22, Riga, pp. 110–121, 2005.
- [30] Mohan R., *Teacher Education*, New Delhi: PHI Learning Pvt. Ltd., 2011.
- [31] Mohan R., *Innovative Science Teaching: For Physical Science Teachers 3<sup>rd</sup> Ed.*, New Delhi: PHI Learning Pvt. Ltd., 2007.
- [32] Thomas C. A., Davies I. K., Openshaw D., Bird J. B., *Programmed Learning in Perspective: A Guide to Program Writing*, London: Transaction Publishers, 2007.
- [33] Coulson J. B., *Adaptive Teaching Machines*, NY: John Wiley and Sons, 1962.
- [34] Senders J., *Adaptive teaching machines, Programmed learning and computer-based instruction*, New York, Wiley, pp. 129–133, 1962.
- [35] Haque U., The Architectural Relevance of Gordon Pask, *Archit Design*, pp. 54–61, 2007.
- [36] Uhr L., Teaching machine programs that generate problems as a function of interaction with students, *Proceedings of the 24<sup>th</sup> National Confernece*, pp. 125–134, 1969.
- [37] Richardson J. J., *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*, Broadway: Routledge, 1988.
- [38] Nkambou R., Frasson C., Gauthier G., A new approach to ITS-curriculum and course authoring: the authoring environment, *Computers & Education*, vol. 31, no. 1, pp. 105–130, 1998.
- [39] Self J. A., Student models in computer-aided instruction, *International Journal of Man-Machine Studies*, pp. 261–276, 1974.
- [40] Sleeman D., Brown J. S., *Intelligent Tutoring Systems, Introduction: Intelligent Tutoring Systems*, New York: Academic Press, pp. 1–11, 1982.
- [41] Padayachee I., *Intelligent Tutoring Systems: Architecture and Characteristics*, SCALA, Eastern Cape, 2002.
- [42] Freedman R., What is an Intelligent Tutoring System?, Published in *Intelligence* vol. 11, no. 3, pp. 15–16, 2000.
- [43] Ghaoui C., Janvier W. A., *Artificial Intelligence in Intelligent Tutoring Systems — An Evaluation*, 2001. Pieejams: <http://www.cms.livjm.ac.uk/cmswjanv/main/papers/ITS-anEvaluation.pdf>. [Apmeklēts 22.08.2012].
- [44] Beck J., Stern M., Haugsjaa E., *Applications of AI in Education*, 2001. Pieejams: <http://www.ent.mrt.ac.lk/~ekulasek/en577/Applications%20of%20AI%20in%20Education.htm>. [Apmeklēts 21.08.2012].
- [45] Russell S., Norvig P., *Artificial Intelligence. A Modern Approach.*, Upper Saddle River: Prentice Hall, 2003.
- [46] Russell S., Norvig P., *Artificial Intelligence. A Modern Approach.*, Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.
- [47] Lavendelis E., Grundspenķis J., MASITS Methodology Supported Development of Agent Based Intelligent Tutoring System MIPITS, *Communications in Computer and Information Science*, vol. 129, pp. 119–132, 2011.
- [48] Grundspenķis J., MIPITS and IKAS — Two Steps towards Truly Intelligent Tutoring System Based on Integration of Knowledge Management and Multiagent Techniques, *Proceedings of*

- the International Conference on e-Learning and the Knowledge Society (e-Learning'10), Riga, Latvia, pp. 22–39, 2010.
- [49] Lavendelis E., Grundspenķis J., Multi-Agent Based Intelligent Tutoring System Source Code Generation Using MASITS Tool, *Scientific Journal of Riga Technical University. Computer Sciences* 41, no. 1, pp. 27–36, 2010.
- [50] Hatzilygeroudis I., Prentzas J., Knowledge Representation Requirements for Intelligent Tutoring Systems, *Intelligent Tutoring Systems: 7<sup>th</sup> International Conference*, Maceió, Alagoas, Brazil, pp. 87–97, 2004.
- [51] Jeremić Z., Devedžić V., Gašević D., An Intelligent Tutoring System for learning design patterns, *Proceedings of the ICWE2004 WSh. on Adaptive Hypermedia and Collaborative Web-based Sys.*, Munich, Germany, p. 6, 2004.
- [52] Halff H., *Curriculum and instruction in automated tutors*, Foundations of intelligent tutoring systems, Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, pp. 79–108, 1988.
- [53] Murray T., Principles for pedagogy-oriented knowledge based tutor authoring systems: Lessons learned and a design meta-model, In *Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environments*, Netherlands, Springer, pp. 439–466, 2003.
- [54] Murray T., *Authoring Intelligent Tutoring Systems: An Analysis of the*, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, pp. 98–129, 1999.
- [55] Morales R., Aguera A. S., Dynamic Sequencing of Learning Objects, *Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, pp. 502–506, 2002.
- [56] Chakraborty S., Roy D., Basu A., Shikshak: An Architecture for an Intelligent Tutoring System, *International Workshop of Cognitive Aspects in Intelligent and Adaptive Web-based Educational Systems (CIAWES) held in conjunction ICCE*, Taipei, Taiwan, pp. 24–41, 2008.
- [57] Chakraborty S., Roy D., Bhowmick P. K., Basu A., An authoring system for developing Intelligent Tutoring System, *Proceedings of IEEE TechSym*, pp. 196–205, 2010.
- [58] Chakraborty S., Bhattacharya T., Bhowmick P., Basu A., Sarkar S., Shikshak: An Intelligent Tutoring System Authoring Tool for Rural Education, *1 ICTD*, Bangalore, India, pp. 1–10, 2007.
- [59] Nkambou R., Frasson M. C., Frasson C., Generating courses in an intelligent tutoring system, *IEA\_AIE'96, The Ninth International Conference on Industrial & Engineering Applications of Artificial Intelligence & Expert Systems*, ACROS Fukuoka, Tenjin Chu-ku Fukuoka, Japan, pp. 261–266, 1996.
- [60] Nkambou R., Frasson C., Gauthier G., CREAM-Tools: An authoring environment for knowledge engineering in intelligent tutoring systems, In *Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environments*, Springer, Netherlands, pp. 269–308, 2003.
- [62] Nkambou R., Gauthier G., Frasson C., CREAM-Tools: An authoring environment for curriculum and course building in an intelligent tutoring system, *CALISCE '96 Proceedings of the Third International Conference on Computer Aided Learning and Instruction in Science and Engineering*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 186–194, 1996.
- [62] Russell D. M., IDE: The interprener, *Intelligent Tutoring Systems: Lessons Learned*, In Psootka, Massey, & Mutter (Eds.), Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 321–351, 1988.
- [63] Jones M., Wipond K., *Teaching Knowledge and Intelligent Tutoring*, *Intelligent Environments for Curriculum and Course Development*, Norwood, New Jersey, Ablex, pp. 379–396, 1991.
- [64] Kabicher S., Derntl M., Visual Modelling for Design and Implementation of Modular Curricula, *Zeitschrift für Hochschulentwicklung*, pp. 23–33, 2008.
- [65] Kabicher S., Motschnig-Pitrik R., Coordinating Curriculum Implementation Using Wiki-supported Graph Visualization, *Ninth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT*, pp. 742–743, 2009.
- [66] Gestwicki P., Work in progress — Curriculum visualization, *Proceedings of the 38<sup>th</sup>. Annual Frontiers in Education Conference*, Saratoga Springs, NY, pp. 13–14, 2008.
- [67] Gestwicki P., Toombs A., Poster: Design and evaluation of an interactive curriculum visualization system, *VisWeek 2010*, Salt Lake City, USA, p. 2, 2010.
- [68] Zucker R., ViCurriAS: a curriculum visualization tool for faculty, advisors and students, *Journal of Computing Sciences in Colleges*, vol. 25, no. 2, pp. 138–145, 2009.
- [69] Auvinen T., Curriculum Development Using Graphs of Learning Outcomes, *First EUCEET Association Conference New Trends and Challenges in Civil Engineering Education*, Patras, Greece, pp. 27–37, 2011.

- [70] Rollande R., Using graph for tutor module construction of intelligent tutoring system, 4<sup>th</sup> International Conference: Information Society and Modern Business, The Role of Regional Centers in Business Development, Ventspils, Latvia, pp. 39–48, 2009.
- [71] Latvijas Republikas Saeima, Izglītības likums, Latvijas Vēstnesis, Rīga, Latvija, nr. 343/344, novembris, 1998.
- [72] Krathwohl D. R., A revision of Bloom's taxonomy: An overview, *Theory into practice*, vol. 41, no. 4, pp. 212–218, 2002.
- [73] Anderson L. W., Krathwohl D. E., Bloom B., A Taxonomy for learning teaching and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives [Abridged], New York: Addison Wesley Longman, p. 336, 2000.
- [74] Forehand M., Bloom's taxonomy: Original and revised, *Emerging perspectives on learning, teaching, and technology*, 2005.
- [75] Novak J., *Learning, Creating and Using Knowledge: Concept Maps as Facilitative Tools in Schools and Corporations.*, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1998.
- [76] Novak J. D., Canas A. J., *The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them*, Technical Report IHMC CmapTools 2006-01, Rev 01-2008, Florida, 2008.
- [77] Grundspenķis J., Usage Experience and Student Feedback Driven Extension of Functionality of Concept Map Based Intelligent Knowledge Assessment System, *Communication and Cognition*, vol. 43, no. 1 & 2, pp. 1–20, 2010.
- [78] Vanides J., Yin Y., Tomita M., Ruiz-Primo M. A., Concept maps, *Science Scope*, vol. 28, no. 8, pp. 27–31, 2005.
- [79] Learning Technology Standards Committee of the IEEE, Draft Standard for Learning Object Metadata, IEEE Standards Department, Piscataway, NJ, USA, 2002.
- [80] Keefe J., Learning Style: An Overview, In *NASSP's Student Learning Styles: Diagnosing and Prescribing Programs*, Reston, VA, National Association of Secondary School Principals, pp. 1–17, 1979.
- [81] Irvine J., York D., Learning Styles and Culturally Diverse Students: A Literature Review. James A. Banks (Ed.), In *Handbook of Research on Multicultural Education*, New York, Simon & Schuster Macmillan, pp. 484–497, 1995.
- [82] Byrne E. P., Teaching and learning styles in engineering at UCC, In *International Symposium on Engineering Education*, 2007.
- [83] Peter S. E., Bacon E., Dastbaz M., Learning styles, personalisation and adaptable e-learning, 2009.
- [84] Graf, S., Liu, T. C., Supporting Teachers in Identifying Students' Learning Styles in Learning Management Systems: An Automatic Student Modelling Approach, *Educational Technology & Society*, vol. 12, no. 4, pp. 3–14, 2009.
- [85] Felder R. M., Soloman B. A., Index of learning styles. Pieejams: <http://www.engr.ncsu.edu/learningstyles/ilsweb.html>. [Apmeklēts 18.03.2014].
- [86] Litzinger T. A., Lee S. H., Wise J. C., Felder R. M., A Psychometric Study of the Index of Learning Styles, *Journal of Engineering Education. Reliability, factor structure, and construct validity of the Index of Learning Styles.*, vol. 96, no. 4, pp. 309–319, 2007.
- [87] Felder R. M., Soloman B. A., Index of learning styles. Pieejams: <http://www.engr.ncsu.edu/learningstyles/ilsweb.html>. [Apmeklēts 18.03.2014].
- [88] Osis J., Grundspenķis J., Markovičs Z., Sarežģītu heterogēnu sistēmu topoloģiskā modelēšana, Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 407 lpp., 2012.
- [89] Nikolaev V., Bruk V. M., *Sistemotekhnika: metody i prilozhenija*, Leningrad: Machinostrojenie, 1985.
- [90] Nečiporenko V. I., *Strukturnyj analiz sistem: effektivnost' i nadežnost'.*, Moskva: Sovetskoe radio, 1977.
- [91] Grundspenķis J., Sarežģītu tehnisku sistēmu struktūrmodelēšana nepilnīgas informācijas apstākļos, zinātnisko darbu apskats habilitētā zinātņu doktora grāda iegūšanai, Rīga, 33 lpp. 1993.
- [92] Microsoft, Graph#. Pieejams: <http://graphsharp.codeplex.com/>. [Apmeklēts 02.05.2013].
- [93] Battista G. D., Eades P., Tamassia R., Tollis I. G., Algorithms for drawing graphs: an annotated bibliography, *Computational Geometry*, vol. 4, no. 5, pp. 235–282, 1994.
- [94] Six J. M., Tollis I. G., *Circular Drawing Algorithms*, *Handbook of Graph Drawing and Visualization*, Boca Raton, Chapman and Hall/CRC, pp. 285–314, 2013.

- [95] Eiglsperger M., Siebenhaller M., Kaufmann M., An Efficient Implementation of Sugiyama's Algorithm for Layered Graph Drawing, *Journal of Graph Algorithms and Applications*, vol. 9, no. 3, pp. 305–325, 2005.
- [96] Fruchterman T. M., Reingold E. M., Graph drawing by force-directed placement, *Software: Practice and experience*, vol. 21, no. 11, pp. 1129–1164, 1991.
- [97] Fagnan J., Zai'ane O., Goebel R., Visualizing Community Centric Network Layouts, In *Proceedings of the 2012. 16<sup>th</sup> International Conference on Information Visualisation*, pp. 321–330, 2012.
- [98] Meyer B., Competitive Learning of Network Diagram Layout, IEEE, Published in the *Proceedings of VL'98*, Nova Scotia, Canada, pp. 56–63, 1998.
- [99] Meyer B., Self-organizing graphs — a neural network perspective of graph layout, *Graph Drawing*, Springer Berlin Heidelberg, 1998.
- [100] Kamada T., Kawai S., An Algorithm for Drawing General Undirected Graphs, *Information Processing Letters*, vol. 31, no. 1, pp. 7–15, 1989.
- [101] Noack A., Energy Models for Graph Clustering, *Journal of Graph Algorithms and Applications*, vol. 11, no. 2, pp. 453–480, 2007.
- [102] Rollande R., Grundspenkis J., Representation of study program as a part of graph based framework for tutoring module of intelligent tutoring system, *Proceedings of The Second International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC 2012)*, Klaipeda, Lithuania, pp. 108–113, 2012.
- [103] Microsoft, .NET Framework. Pieejams: <http://msdn.microsoft.com/en-US/vstudio/aa496123.aspx> [Apmeklēts 02.05.2013].
- [104] Microsoft, .NET Downloads, Developer Resources & Case Studies. Pieejams: <http://www.microsoft.com/net/>. [Apmeklēts 02.05.2013].
- [105] Microsoft, Windows Presentation Foundation. Pieejams: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/vstudio/ms754130.aspx>. [Apmeklēts 02.05.2013].
- [106] Microsoft, Visual Studio LightSwitch. Pieejams: <http://msdn.microsoft.com/en-us/vstudio/ff796201.aspx>. [Apmeklēts 02.05.2013].
- [107] Microsoft, Visual Studio 2012 LightSwitch. Pieejams: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/vstudio/ff851953.aspx>. [Apmeklēts 02.05.2013].
- [108] Microsoft, SQL Server 2012 Express LocalDB. Pieejams: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh510202.aspx>. [Apmeklēts 02.05.2013].
- [109] Microsoft, SQL Server Editions. Pieejams: <http://www.microsoft.com/sqlserver/en/us/editions.aspx>. [Apmeklēts 02.05.2013].
- [110] Microsoft, Visual Studio 2012. Pieejams: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/vstudio/dd831853.aspx>. [Apmeklēts 02.05.2013].
- [111] Microsoft, QuickGraph, Graph Data Structures And Algorithms for .NET. Pieejams: <http://quickgraph.codeplex.com/>. [Apmeklēts 02.05.2013].
- [112] Six J. M., Tollis I. G., A framework and algorithms for circular drawings of graphs, *Journal of Discrete Algorithms*, vol. 4, pp. 25–50, 2006.
- [113] Sugiyama K., Tagawa S., Toda M., Methods for visual understanding of hierarchical system structures, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 11, no. 2, pp. 109–125, 1981.
- [114] Ventpils Augstskola. Pieejams: <http://www.venta.lv>. [Apmeklēts 27.11.2013].
- [115] Rollande R., Grundspenkis J., Graph based framework and its implemented prototype for personalized study planning, *The Second International Conference on E-Learning and E-Technologies in Education (ICEEE2013)*, Lodz, Poland, pp. 137–142, 2013.
- [116] Rollande, R., Grundspenkis, J., Mislevics, A., The use of structural modelling methods for analysis of personalized study planning. *IEEE Technically Co-Sponsored Science and Information Conference 2014*, August 27–29, pp. 921–926, 2014, London, UK.
- [117] Grundspenkis J., Anohina-Naumeca A., Lukasenko R., Vilkelis M., Strautmane M., Zināšanu vērtēšanas sistēma, Rīgas Tehniskā universitāte, Mākslīgā intelekta un sistēmu inženierijas katedra. Pieejams: [www.ikas.lv](http://www.ikas.lv). [Apmeklēts 15.04.2014].
- [118] Moodle, 2012. Pieejams: <https://moodle.org>. [Apmeklēts 09.04.2013].
- [119] U. S. Government, Advanced Distributed Learning, SCORM. Pieejams: <http://www.adlnet.org/scorm/>. [Apmeklēts 30.11.2013].