

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Romans LUKAŠENKO

**STUDENTA MODEĻA IZSTRĀDE INTELEKTUĀLO
APMĀCĪBAS SISTĒMU FUNKCIJU ATBALSTAM**

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2012

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte
Lietišķo datorsistēmu institūts

Romans LUKAŠENKO
Doktora studiju programmas „Datorsistēmas” doktorants

**STUDENTA MODEĻA IZSTRĀDE INTELEKTUĀLO
APMĀCĪBAS SISTĒMU FUNKCIJU ATBALSTAM**

Promocijas darba kopsavilkums

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

Rīga 2012

UDK 004.89:371.315.7(043.2)

Lu 385 s

Lukašenko R. Studenta modeļa izstrāde intelektuālo apmācības sistēmu funkciju atbalstam. Promocijas darba kopsavilkums. - R.:RTU, 2012.-48 lpp.

Iespiests saskaņā ar DITF LDI padomes 2012. gada 26. jūnija lēmumu, protokols Nr. 77.

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas „Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēcdoktorantūras pētījumiem” projekta „Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai” ietvaros un ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”.

ISBN 978-9934-8260-2-3

**PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ
INŽENIERZINĀTŅU (datorsistēmu)
DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI**

Promocijas darbs inženierzinātņu (datorsistēmu) doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2012.gada 21.novembrī Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātē, Meža ielā 1/3, 202. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI:

Profesors, Dr.habil.sc.ing. Leonīds Novickis
Rīgas Tehniskā Universitāte, Latvija

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

Profesors, Dr. Vitalijus Denisovas
Klaipēdas Universitāte, Lietuva

APSTIPRINĀJUMS

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

Romans Lukašenko (paraksts)

Datums:.....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 5 nodaļas, secinājumus un bibliogrāfiju, 3 pielikumus, 67 attēlus un 32 tabulas pamattekstā, kopā 156 lapaspuses. Bibliogrāfiskajā sarakstā ir 118 nosaukumi.

SATURS

IEVADS	5
1. INTELEKTUĀLO MĀCĪBU SISTĒMU IZPĒTE	12
1.1. IAS definīcijas	12
1.2. IAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas	14
1.3. IAS piemēri.....	15
1. nodaļas kopsavilkums	17
2. STUDENTA MODEĻA SATURA ANALĪZE.....	18
2.1. Studenta modeļa definīcija.....	18
2.2. Studenta modeļa saturs	18
2.3. Studenta modeļa datu izmantošana.....	22
2.4. „SM builder” rīks.....	23
2. nodaļas kopsavilkums	24
3. IKAS PILNVEIDOŠANAS IESPĒJU ANALĪZE	24
3.1. IKAS apraksts	25
3.2. Prasības IKAS pilnveidošanai	27
3. nodaļas kopsavilkums	29
4. IKAS JAUNĀS FUNKCIONALITĀTES REALIZĀCIJA	29
4.1. Prasības „Jēdzienu izskaidrošana” realizācija	30
4.2. Prasības „Jēdzienu apgūšanas pakāpes” realizācija.....	31
4.3. Prasības „Uzdevuma sākotnējā adaptācija” realizācija	32
4.4. IKAS pilnveidošanas apkopojums.....	34
4. nodaļas kopsavilkums	34
5. IKAS JAUNĀS FUNKCIONALITĀTES PĀRBAUDE	34
5.1. IKAS jaunas funkcionalitātes pārbaudes procesa organizēšana	35
5.2. Prasības „Jēdzienu izskaidrošana” realizācijas novērtējums	35
5.3. Prasības „Jēdzienu apgūšanas pakāpes” realizācijas novērtējums	36
5.4. Prasības „Uzdevuma sākotnējā adaptācija” realizācijas novērtējums	37
5. nodaļas kopsavilkums.....	38
DARBA KOPĒJIE REZULTĀTI UN SECINĀJUMI.....	39
BIBLIOGRĀFISKAIS SARAKSTS.....	41

IEVADS

Datorizētas apmācības sistēmas sniedz iespēju cilvēkiem mācīties viņiem ērtā laikā, vietā, apjomā un tempā. Mācību procesā ieviešamā tehnoloģija daļēji pārņem cilvēka-skolotāja lomu un līdz ar to, lai tā varētu šo lomu efektīvi izpildīt, ir nepieciešams nodrošināt tās intelektuālās un adaptīvās spējas (funkcijas), kas piemīt cilvēkam-skolotājam [ANO 2006a, BRU 1999, DEV 2000, FRA 1997, KEL 2002, LIE 2000, WEN 2007]. Tāpēc, mūsdienās uzsvars ir likts uz tā saucamo intelektuālo apmācības sistēmu (IAS) izstrādi, kas, balstoties uz dažādām mākslīgā intelekta tehnikām un izmantojot zināšanas par to, ko mācīt un kā mācīt, spēj nodrošināt intelektuālu atbalstu un mācību procesa adaptāciju (jeb apmācības personalizēšanu) atsevišķam apmācāmajam, tādējādi paaugstinot apmācības procesa efektivitāti [GIL 1999, MON 1995]. IAS intelektuālo un adaptīvo funkciju piemēri ir spēja sniegt apmācāmajam nepieciešamo palīdzību (paskaidrojumus, uzvedinošus jautājumus, mājienus utt.) uzdevuma risināšanas laikā; spēja noteikt, kādas kļūdas ir apmācāmā risinājumā un kādu zināšanu trūkums ir šo kļūdu celonis; spēja atspoguļot mācību materiālu veidā, kas ir visvairāk piemērots apmācāmajam un spēja veidot individuālu apmācības plānu (uzdevumu virkni) katram apmācāmajam [BLO 1956, BRU 2003, KIN 2004, LAZ 2007].

IAS intelektuālo un adaptīvo funkciju nodrošināšanai izmanto studentu modelēšanu [BRU 2001, GOU 2004, WEN 2007, BYJI 2003]. Studenta modelēšana ir process, kura gaitā tiek iegūta informācija par apmācāmo un tiek veidots viņa/viņas modelis. Starp datiem, kurus glabā studenta modelī, ir apmācāmā zināšanu līmeņi, sasniegtie rezultāti, iemaņas, apmācības mērķi, mācīšanās stili un citi dati. Studenta modeļa dati tālāk tiek izmantoti sistēmā, lai veiktu apmācības vides personalizēšanu konkrētam apmācāmajam.

Promocijas darbā veiktās literatūras analīzes rezultātā ir konstatēts, ka šobrīd nav pētījumu, kur būtu apkopota informācija par IAS funkcijām (ieskaitot intelektuālās un adaptīvās funkcijas) un studenta modeļa datu savstarpējo saistību. Šāds pētījums atvieglotu IAS izstrādātāju darbu, jo tas ļautu ātri izvēlēties studenta modeli jebkurai IAS atkarībā no tā, kādu funkcionalitāti ir nepieciešams sistēmā nodrošināt. Uz doto brīdi šāda pētījuma trūkums noved pie tā, ka katram IAS izstrādātājam vajag pašam izanalizēt vairākas IAS, kas prasa daudz laika, lai izvēlētos atbilstošo studenta modeli vai modificētu un pielāgotu to konkrētam gadījumam.

Tēmas aktualitāte

Jebkuras IAS mērķis ir nodrošināt apmācību tādā līmenī, kas nav sliktāks par cilvēka-skolotāja labo apmācības praksi. Tāpēc IAS ļoti svarīga sastāvdaļa ir tās intelektuālās un

adaptīvās funkcijas, kas izpaužas IAS spējā analizēt apmācāmos un personalizēt apmācības vidi katra apmācāmā vajadzībām. Šī iemesla dēļ pētījuma veikšana par studentu modelēšanu kā galveno datu avotu IAS intelektuālo un adaptīvo funkciju nodrošināšanai ir aktuāla tēma.

Rīgas Tehniskajai universitātei šī promocijas darba tēma ir aktuāla, lai attīstītu RTU izstrādāto datorizēto zināšanu vērtēšanas sistēmu IKAS [ANO 2011, GRU 2009a]. Šobrīd IKAS izstrādātāji izprot, ka ir nepieciešams paplašināt sistēmas intelektuālās un adaptīvās funkcijas, lai, pirmkārt, sistēmu labāk pielāgotu apmācāmo vajadzībām, un otrkārt, lai IKAS pārveidotos par sistēmu, kuru var izmantot ne tikai zināšanu vērtēšanas, bet arī apmācības nolūkiem. Tāpēc šajā promocijas darbā studenta modeļu pētījumu rezultāti ir izmantoti arī, lai izvēlētos IKAS intelektuālajām un adaptīvajām funkcijām atbilstošu studenta modeli.

Promocijas darba mērķis

Promocijas darba mērķis ir identificēt intelektuālo mācības sistēmu intelektuālās un adaptīvās funkcijas, definēt pēc iespējas pilnīgāka studenta modeļa saturu šo funkciju atbalstam un izstrādāt rīku studenta modeļa automātiskai ģenerēšanai, kā arī paplašināt zināšanu vērtēšanas sistēmas IKAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas, veicot arī šo funkciju realizācijā iegūtā efekta eksperimentālo pārbaudi.

Darba uzdevumi

Promocijas darba mērķa sasniegšanai ir izvirzīti šādi uzdevumi:

- Veikt IAS analīzi, lai: 1) tajās izdalītu galvenās intelektuālās un adaptīvās funkcijas, 2) definētu pēc iespējas pilnīgāku studenta modeli, 3) atrastu saistības starp studenta modeļa datiem un IAS funkcijām.
- Izstrādāt programmatūras sistēmu studenta modeļa struktūras iegūšanai atkarībā no IAS vajadzīgajām intelektuālajām un adaptīvajām funkcijām.
- Izvirzīt konkrētas prasības IKAS intelektuālo un adaptīvo funkciju paplašināšanai, balstoties uz IKAS izstrādātāju mērķiem pilnveidot sistēmu, kā arī pamatojoties uz apmācāmo un pasniedzēju atgriezenisko saiti par sistēmas darbību.
- Izveidot IKAS vajadzībām atbilstošu studenta modeli, izmantojot izstrādāto programmatūras sistēmu tā struktūras iegūšanai.
- Izstrādāt algoritmus IKAS intelektuālo un adaptīvo funkciju nodrošināšanai un implementēt tos sistēmā.
- Veikt izstrādāto algoritmu aprobāciju mācībuursos un izdarīt secinājumus par to, vai algoritmu darbība dod efektu apmācības uzlabošanā.

Pētījumu objekts

Darba pētījuma objekti ir IAS un tajās lietotie studenta modeļi.

Pētījumu priekšmets

Promocijas darba pētījuma priekšmets ir IAS studentu modeļi, fokusējoties uz studenta modeļa datu izmantošanu intelektuālo un adaptīvo funkciju realizācijā.

Zinātniskais jaunieguvums

Darba zinātniskais jaunieguvums ir šāds:

- Definēts IAS intelektuālo un adaptīvo funkciju pilns saraksts un identificētas saistības starp IAS funkcijām un studenta modeļa datiem.
- Izveidots pilnīgs studenta modelis IAS visu intelektuālo un adaptīvo funkciju atbalstam.
- Izstrādāts algoritms jēdzienu izskaidrošanai adaptīvā veidā.
- Izstrādāts algoritms, lai izvēlētos jēdzienu tīkla uzdevuma sākotnējo grūtības pakāpi katram apmācāmajam atkarībā no zināšanu līmeņa kursā un mācīšanās stila.
- Iegūta formula jēdzienu apgūšanas pakāpju izskaitļošanai un izstrādāts algoritms individuāla jēdzienu atkārtības saraksta ģenerēšanai apmācāmajam.

Teorētiskā vērtība

Darba teorētiskā vērtība ir šāda:

- Izanalizētas un klasificētas IAS definīcijas un izdalītas IAS četras galvenās īpašības: adaptācija apmācāmajam, apmācāmā modelēšana, mākslīgā intelekta metožu izmantošana un sistēmas arhitektūra.
- Apkopotas IAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas un izpētīta to izplatība IAS dažādās grupās.
- Iegūts teorētiskā un praktiskā studentu modeļu saturs, definēts pilnīgs studenta modeļa saturs un identificētas saistības starp studenta modeļa datiem un IAS funkcijām.
- Apmācāmo aptaujas gaitā ir noskaidrots mūsdienu apmācāmā mācīšanās stilu profils, kas ir Vizuāls – Globāls – Aktīvs – Sensitīvs.
- Noskaidrots, ka studenta modelim jābūt atvērtam un modificējamam apmācāmajam, jo tie aktīvi iesaistās sava studenta modeļa pārvaldībā.

Praktiskā nozīmība

Pētījumu praktiskā nozīmība ir šāda:

- Izveidots pilnīgs studenta modelis un izstrādāta programmatūras sistēma studenta modeļa automātiskai ģenerēšanai atkarībā no IAS intelektuālajām un adaptīvām funkcijām.

- Paplašinātas IKAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas ar jauna studenta modeļa atbalstu, lai IKAS atbalstītu mācību procesā gan zināšanu vērtēšanas, gan jaunu zināšanu iegūšanas posmus.
- Implementēts algoritms, lai IKAS-ā sniegtu jēdzienu izskaidrošanu adaptīvā veidā.
- Implementēts algoritms, lai IKAS-ā izvēlētos jēdzienu tīkla uzdevuma sākotnējo grūtības pakāpi katram apmācāmajam individuāli.
- Implementēts algoritms, lai IKAS-ā ģenerētu individuālu jēdzienu atkārtotības sarakstu apmācāmajam.

Darba aprobācija

Darba aprobācija tika veikta, izmantojot promocijas darba ietvaros uzlaboto sistēmu IKAS studentu apmācībai un viņu zināšanu vērtēšanai šādos mācībuursos 2011. gada pavasara semestrī RTU Sistēmu teorijas un projektēšanas katedrā: „Ievads mākslīgajā intelektā”, „Mākslīgā intelekta pamati” un „Mākslīgā intelekta pamati: brīvā izvēle”.

Par promocijas darba rezultātiem referēts 9 starptautiskās zinātniskās konferencēs (5 ārvalstīs un 4 Latvijā):

1. 2011.g. 6.oktobris. 2nd International Workshop on Intelligent Educational Systems and Technology-enhanced Learning (INTEL-EDU 2011), Rīga, Latvija.
2. 2011.g. 20.-23.jūlijs. IADIS International Conference e-Learning 2011, Roma, Itālija.
3. 2011.g. 19.-21.maijs. International Conference on Internationalization of Post-Soviet University, Kijeva, Ukraina.
4. 2010.g. 14.oktobris. RTU 51. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija.
5. 2010.g. 5.-7.jūlijs. International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN 2010), Barselona, Spānija.
6. 2009.g. 16.oktobris. RTU 50. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija.
7. 2009.g. 17.-20.jūnijs. IADIS International Conference e-Learning 2009, Algarve, Portugāle.
8. 2008.g. 15.oktobris. RTU 49. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija.
9. 2008.g. 12.-13.jūnijs. International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech'08), Gabrovo, Bulgārija.

Promocijas darba ietvaros veikto pētījumu rezultāti ir atspoguļoti 13 publikācijās starptautiskos zinātniskos izdevumos:

1. Lukasenko R., Grundspenkis J. IKAS as a Tool for Internationalization of Education. Proceedings of the 2nd International Workshop on Intelligent

- Educational Systems and Technology-enhanced Learning (INTEL-EDU'11), October 6, 2011, Riga, Latvia (in publishing).
2. Anohina-Naumeca A., Lukasenka R., Skripkins, D. Conception of the Animated Interface Agent for the Concept Map Based Intelligent Knowledge Assessment System. Scientific Proceedings of Riga Technical University „Computer Science. Applied Computer Systems”, 5th series, Vol. 47, RTU Publishing, 2011, Riga, Latvia, pp. 29-37 (raksts ir indeksēts VERSITA Emerging Science Publishers datubāzē - <http://versita.metapress.com>)
 3. Lukasenka R. Intelligent Knowledge Assessment Tool. Proceedings of the IADIS International Conference (e-Learning'11), June 20-23, 2011, Rome, Italy, Vol. I, pp. 369-377.
 4. Анохина-Наумец А., Лукашенко Р. Интеллектуальная система оценивания знаний: модель студента и методика экспериментальной проверки алгоритма адаптации. Образовательные технологии и общество, Сер. 2, Том 14, 2011, с. 346-362.
 5. Lukasenka R., Vilkelis M., Anohina-Naumeca A., Grundspenkis, J. Feedback in the Concept Map Based Intelligent Knowledge Assessment System. Scientific Proceedings of Riga Technical University „Computer Science. Applied Computer Systems”, 5th series, Vol. 43, RTU Publishing, 2010, Riga, Latvia, pp. 17-26. (raksts ir indeksēts VERSITA Emerging Science Publishers datubāzē - <http://versita.metapress.com>)
 6. Lukasenka R., Anohina-Naumeca A. Development of the Adaptation Mechanism for the Intelligent Knowledge Assessment System Based on the Student Model. Proceedings of the International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN'10), July 5-7, 2010, Barcelona, Spain, pp. 005140-005149. (raksts ir indeksēts IATED Digital Library datubāzē - <http://library.iated.org/>)
 7. Lukasenka R, Grundspenkis J. Adaptation of Intelligent Knowledge Assessment System Based on Learner's Model. Proceedings of the 16th International Conference on Information and Software Technologies (IT'10), 2010, Kaunas, Lithuania, pp. 332-339
 8. Lukasenka R., Anohina A. Architecture and application of knowledge assessment systems: an overview. Scientific Proceedings of Riga Technical University „Computer Science. Applied Computer Systems”, 5th series, Vol. 38, RTU

Publishing, 2009, Riga, Latvia, pp. 25-36. (raksts ir indeksēts VERSITA Emerging Science Publishers datubāzē - <http://versita.metapress.com>)

9. Vilkelis M., Lukassenko R., Anohina A. Technical Evolution of the Concept Map Based Intelligent Knowledge Assessment System. Proceedings of the 13th East-European Conference on Advances in Databases and Information Systems, 2009, Riga, Latvia, pp. 214-221.
10. Lukassenko R., Grundspenkis J. A Conception of Agents-Based User Modeling Shell for Intelligent Knowledge Assessment System. Proceedings of the IADIS International Conference (e-Learning'09), June 17-20, 2009, Algarve, Portugal, Vol. I, pp. 98-106. (raksts ir indeksēts IADIS Digital Library datubāzē - <http://www.iadisportal.org/digital-library>)
11. Anohina A., Vilkelis M., Lukassenko R. Incremental Improvement of the Evaluation Algorithm in the Concept Map Based Knowledge Assessment System. International Journal of Computers, Communication and Control, 1st series, Vol. 4, 2009, pp. 6-16. (raksts ir indeksēts Microsoft Academic Search datubāzē - <http://academic.research.microsoft.com/>)
12. Vilkelis M., Anohina A., Lukassenko R. Architecture and Working Principles of the Concept Map Based Knowledge Assessment System. Proceedings of the 3rd International Conference on Virtual Learning, October 31 – November 2, 2008, Constanta, Romania, pp. 81-90.
13. Lukassenko R., Vilkelis M., Anohina A. Deciding on the Architecture of the Concept Map Based Knowledge Assessment System. Proceedings of the International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech'08), June 12-13, 2008, Gabrovo, Bulgaria, pp. V.3-1 - V.3-6. (raksts ir indeksēts ACM Digital Library datubāzē - <http://dl.acm.org/>)

Promocijas darba rezultāti ir iekļauti arī 4 zinātnisku projektu atskaitēs:

1. „Jēdzienu tīklu sarežģītības un uzdevumu grūtības pakāpes noteikšanas matemātiskā modeļa izstrāde un realizācija, adaptējoties studenta modeļa raksturojumiem” (projekta vadītājs J.Grundspenķis, 2010.gads, Rīgas Tehniskās universitātes pētnieciskais projekts, FLPP-2010/19).
2. „Jēdzienu tīklu ģenerēšanas no nestrukturēta teksta algoritma izstrāde zināšanu vērtēšanas sistēmai ar studenta modelēšanas komponenti” (projekta vadītājs J.Grundspenķis, 2009.gads, Rīgas Tehniskās universitātes pētnieciskais projekts, ZP-2009/33).

3. „Intelektuālās adaptīvās daudzāģentu zināšanu vērtēšanas sistēmas izstrāde, pamatojoties uz jēdzienu tīklu salīdzināšanas algoritmiem un jēdzienu tīklu līdzības noteikšanas matemātisko modeli” (projekta vadītājs J.Grundspenķis, 2009.gads, Rīgas Tehniskās universitātes pētnieciskais projekts, FLPP- 2009/9).
4. „Adaptīvo atgriezenisko saišu realizācija jēdzienu tīklos sakņotā intelektuālā zināšanu vērtēšanas sistēmā” (projekta vadītājs J.Grundspenķis, 2008.gads, LR Izglītības un zinātnes ministrijas un Rīgas Tehniskās universitātes pētnieciskais projekts, R7387).

Darba struktūra

Promocijas darbu veido ievads, 5 nodaļas, secinājumi, bibliogrāfiskais saraksts un 3 pielikumi. Promocijas darba pamatteksts ir 117 lappuses, tas satur 67 attēlus un 32 tabulas. Bibliogrāfiskajā sarakstā ir 118 nosaukumu informācijas avoti.

Promocijas darba *Ievadā* ir pamatota veiktā pētījuma aktualitāte, formulēts promocijas darba mērķis un uzdevumi, aprakstīta pētījumu zinātniskā novitāte un iegūto rezultātu praktiskā nozīmība, kā arī ir atspoguļota darba aprobācija.

Darba *1. nodaļā* ir dota IAS definīciju analīze un klasifikācija, ir aprakstīta IAS struktūra un darbības principi, kā arī ir dota IAS intelektuālo un adaptīvo funkciju klasifikācija. Tālāk nodaļā ir veikta vairāku IAS analīze, un ir izdarīti secinājumi par šo sistēmu intelektuālajām un adaptīvajām funkcijām un studenta modeļu lomu tajās.

Darba *2. nodaļā* ir veikta studenta modeļa satura analīze, ir noskaidrots teorētiskā un praktiskā studenta modeļa saturs, izveidots pilnīgs studenta modelis un definētas saistības starp IAS intelektuālajām un adaptīvajām funkcijām un studenta modeļa datiem. Bez tam nodaļā ir aprakstīts izstrādātais „SM builder” rīks, kas palīdz iegūt studenta modeļa struktūru jebkurai IAS, ņemot vērā to, kādas intelektuālās un adaptīvās funkcijas ir jānodrošina IAS-ā.

Darba *3. nodaļā* ir aprakstīta intelektuālā zināšanu vērtēšanas sistēma IKAS. Tiek dota IKAS uzbūve, darbības principi, intelektuālās un adaptīvās funkcijas, studenta modeļa saturs, sistēmas izmantošanas rezultāti. Nodaļas beigās ir definētas prasības IKAS intelektuālo un adaptīvo funkciju paplašināšanai un ar izstrādāto „SM builder” rīku ir ģenerēts jauns studenta modelis.

Darba *4. nodaļā* ir aprakstīts IKAS pilnveidošanas process: ir izstrādāti trīs algoritmi IKAS intelektuālo un adaptīvo funkciju paplašināšanai ar jaunā studenta modeļa atbalstu – algoritms jēdzienu izskaidrošanai adaptīvā veidā, algoritms individuāla jēdzienu atkārtošanas saraksta ģenerēšanai un algoritms uzdevuma sākotnējās grūtības pakāpes izvēlei.

Darba 5. nodaļā ir aprakstīta izstrādāto algoritmu aprobācija trīs mācībuursos. Nodaļā ir veikta iegūto rezultātu analīze un izdarīti secinājumi par katra izstrādātā algoritma efektivitāti un IKAS jaunās funkcionalitātes lietderību kopumā.

Darba *noslēguma daļā* ir izklāstīti promocijas darba galvenie rezultāti un iegūtie secinājumi, kā arī sniegti iespējamie turpmāko pētījumu virzieni.

Darbam pievienoti 3 pielikumi: 1. Programmatūras rīks „SM builder”, 2. IKAS-ā izmantotā aptaujas anketa apmācāmā mācīšanās stila noskaidrošanai pēc Feldera-Silvermanes mācīšanās stilu modeļa, 3. Apmācāmā aptaujas anketa IKAS-ā par sistēmas darbu.

1. INTELEKTUĀLO MĀCĪBU SISTĒMU IZPĒTE

Lai saprastu intelektuālo apmācības sistēmu būtību un šo sistēmu iespējas, promocijas darba 1.1. apakšnodaļā ir veikta IAS definīciju analīze un izdalītas IAS galvenās īpašības, 1.2. apakšnodaļā ir apkopota informācija par IAS funkcijām un 1.3. apakšnodaļā ir veikta vairāku IAS analīze un izdarīti secinājumi par šo sistēmu intelektuālajām un adaptīvajām funkcijām un studenta modeļu lomu šo funkciju nodrošināšanā.

1.1. IAS definīcijas

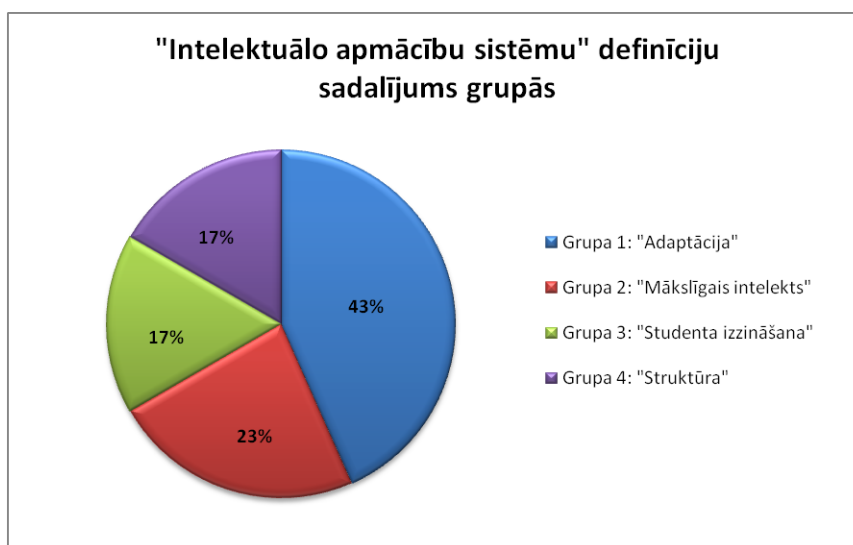
Literatūras analīzes rezultātā [BRE 2002, CON 2009, FRE 2000, KOE 2006, MUR 1999, OHL 1987, ROD 2005, SEL 1999, SHU 1996] promocijas darba autors ir atradis jēdziena „Intelektuālā apmācības sistēma” 34 dažādas definīcijas un ir sadalījis tās 4 grupās:

1. Definīcijas, kas izceļ IAS adaptācijas funkcijas. Adaptācija ir saistīta ar IAS spēju veidot katram apmācāmajam individuālu apmācības scenāriju (uzdevumu virkni) viņai/viņam piemērotā atspoguļošanas formātā (teksts, video, skaņā utt.). Šīs grupas definīcijas piemērs ir: „Intelektuālā apmācības sistēma ir apmācības datorsistēma, kas spēj adaptēt mācību saturu un prezentāciju atbilstoši katra apmācāmā vajadzībām” [SHU 1996].
2. Definīcijas, kurās ir minētas MI (mākslīgā intelekta) tehnikas. Lai datorizēta apmācības sistēma būtu intelektuāla, ir jālieto MI tehnikas sistēmas uzbūvē un darbā, piemēram, mašīnas apmācība, plānu atpazīšana, intelektuālie programmatūras aģenti. Šīs grupas definīcijas piemērs ir: „Intelektuālā apmācības sistēma ir mākslīgā intelekta metožu (produkcijas likumu, Beiesa tīklu, Markova modeļu, neironu tīklu utt.) pielietošana apmācībā” [SEL 1999].
3. Definīcijas, kurās ir runāts par studenta izzināšanu. Studenta izzināšana (jeb modelēšana) ir process, kura gaitā tiek izgūta informācija par apmācāmo un tiek

veidots viņa/viņas portrets jeb tā saucamais modelis. Studenta modelis tiek izmantots tālāk kā galvenā ieeja adaptīvas apmācības procesam. Šīs grupas definīcijas piemērs ir: „Intelektuālā apmācības sistēma ir mācību datorsistēma, kas vērtē apmācāmā katru darbību apmācībās vidē un izveido apmācāmā zināšanu, iemaņu un kompetenču modeli” [FRE 2000].

4. Definīcijas, kurās ir runāts par IAS struktūru. IAS trīs galvenās sastāvdaļas ir: eksperta modulis, kas satur zināšanas par to, ko mācīt, pasniedzēja modulis, kas satur zināšanas par to, kā mācīt un studenta modulis, kas satur zināšanas par apmācāmo. Šīs grupas definīcijas piemērs ir: „Intelektuālā apmācības sistēma ir datorsistēma, kas satur: (a) problēmsfēras zināšanas, (b) zināšanas par apmācāmo un (c) zināšanas par apmācības stratēģijām” [SHU 1996].

1.1. attēlā ir parādīts „intelektuālo apmācības sistēmu” definīciju sadalījums grupās. IAS definīciju lielāko grupu veido definīcijas, kas izceļ IAS adaptācijas funkcijas. IAS adaptācijas spējām ir ļoti svarīga loma kvalitatīva apmācības procesa nodrošināšanā [GIL 1999, MON 1995], tāpēc adaptivitāte ir uzskatāma par IAS vienu no galvenajām īpašībām un vērtībām.



1.1. att. IAS definīciju sadalījums grupās

Pēc promocijas darba autora domām, ņemot vērā definīciju analīzes rezultātus kopumā, datorizēta apmācības sistēma var tikt uzskatīta par pilnvērtīgu IAS tikai tad, ja šī sistēma apmierina četrus nosacījumus: a) sistēma veic adaptāciju apmācāmajam, b) sistēma veic apmācāmā izzināšanu, c) sistēma izmanto mākslīgā intelekta tehnikas savā darbā, d) sistēmas sastāvā ir vismaz šādi trīs moduļi: eksperta, pasniedzēja un studenta modulis. Šo nosacījumu apmierināšana garantē to, ka IAS spēs demonstrēt gan intelektuālās, gan adaptīvās funkcijas.

1.2. IAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas

Saskaņā ar P.Brusilovska *et al.* darbu [BRU 2003] IAS adaptīvā uzvedībā var izdalīt divas galvenās funkcijas (adaptīva atspoguļošana un adaptīva navigācija), bet intelektuālā uzvedībā – trīs galvenās funkcijas (apmācības vielas sakārtošana, risinājuma intelektuāla analīze un problēmu risināšanas atbalsts). Veicot literatūras analīzi, kopumā bija identificētas IAS 6 adaptīvās un 11 intelektuālās apakšfunkcijas (sk. 1.1. tab.). Jāatzīmē, ka funkcija „Apmācāmā identifikācija sistēmā” nav ne intelektuāla, ne adaptīva funkcija, bet šī funkcija ir pievienota tabulai, lai tā būtu pilnīga un saturētu visas IAS funkcijas.

1.1. tabula

IAS funkcijas

Funkcija	Apakšfunkcija	Funkcijas/Apakšfunkcijas paskaidrojums
Apmācāmā identifikācija sistēmā	–	Šī funkcija nodrošina IAS lietotāja identificēšanu ielogošanās laikā un viņa/viņas studenta modeļa izveidošanu (ja lietotājs ir jauns) vai studenta modeļa aktivizēšanu (ja lietotājs jau ir reģistrēts sistēmā).
Adaptīva atspoguļošana	Mācību materiāla atspoguļošana atkarībā no izziņas stila	Šī apakšfunkcija atspoguļo mācību materiālu dažādos veidos atkarībā no apmācāmā izziņas stila – induktīvs, deduktīvs utt. Piemēram, ja apmācāmais izmanto indukciju jaunu zināšanu iegūšanā, tad apmācāmajam no sākuma jādod konkrēti piemēri problēmu atrisināšanai un vēlāk jādod vispārējs likums, uz kura balstās atrisinājums.
	Mācību materiāla atspoguļošana atkarībā no uztveres formas	Šī apakšfunkcija atspoguļo mācību materiālu dažādos veidos atkarībā no tā, kā apmācāmais labāk uztver informāciju – vizuāli, verbāli utt. Piemēram, apmācāmais ar labi attīstītu vizuālu uztveri mācību materiāli tiek doti attēlu un grafiku veidā utml.
	Mācību materiāla atspoguļošana dažādos grūtības līmeņos	Šī apakšfunkcija atspoguļo mācību materiālu dažādos veidos atkarībā no tā, kāds apmācības grūtības līmenis ir konkrētam apmācāmajam – zems, vidējs vai grūts. Piemēram, ja grūtības līmenis ir zems, tad apmācāmajam tiek doti viegli uzdevumi utml.
	Sistēmas interfeiss dažādās valodās	Šī apakšfunkcija nodrošina sistēmas lietotāja saskarni dažādās valodās atkarībā no lietotāja izvēles.
Adaptīva navigācija	Atsauču uz saistītiem palīgmateriāliem parādīšana	Šī apakšfunkcija parāda apmācāmajam atsaucis uz saistītiem mācību materiāliem vai citiem palīgīdzekļiem pašreizējās tēmas vai uzdevuma kontekstā.
	Atsauču uz nākamo tēmu/jautājumu parādīšana	Šī apakšfunkcija parāda atsaucis uz nākamo tēmu/jautājumu, kuru apmācāmajam jāapgūst/jāatrisina.
Apmācības vielas sakārtošana	Apmācības/testēšanas plāna sastādīšana	Šī apakšfunkcija nodrošina apmācības/testēšanas plāna sastādīšanu katram apmācāmajam individuāli pirms apmācības uzsākšanas atkarībā no apmācāmā mērķiem, viņa/viņas zināšanu līmeņa problēmsfērā.
	Nākamās tēmas/jautājuma izvēle	Šī apakšfunkcija izvēlas apmācāmajam nākamo tēmu/jautājumu atkarībā no iepriekšējiem apmācības rezultātiem.

Tabulas 1.1. turpinājums

Funkcija	Apakšfunkcija	Funkcijas/Apakšfunkcijas paskaidrojums
Risinājuma intelektuālā analīze	Apmācāmā darbību pareizības izvērtējums	Šī apakšfunkcija izvērtē apmācāmā veikto darbību pareizību, kad viņš/viņa risina sistēmas uzdoto praktisko problēmu. Šī informācija tālāk tiek izmantota palīdzības sniegšanā apmācāmajam vai motivēšanā.
	Apmācāmajam vieglu/grūtu tēmu identificēšana	Šī apakšfunkcija identificē, kas apmācāmajam bija grūts un kas bija viegls apgūšanai kursa gaitā. Iegūtā informācija tālāk tiek izmantota atgriezeniskajā saitē.
	Kursa/tēmu/jēdzienu zināšanu līmeņa izskaitļošana	Šī apakšfunkcija veic visa kursa vai atsevišķu jēdzienu apgūšanas līmeņa izskaitļošanu apmācības beigās. Iegūtā informācija tālāk tiek izmantota atgriezeniskajā saitē.
	Individuālas atgriezeniskās saites ģenerēšana	Šī apakšfunkcija izvada katram apmācāmajam individuālu atgriezenisko saiti pēc uzdevumu pabeigšanas. Atgriezeniskajā saitē ietilpst apkopojums par mācību vielas apgūšanu, kļūdām un norādījumiem vāji apgūto tēmu/jēdzienu nostiprināšanai.
	Apmācības vielas atkārtēšanas plāna sastādīšana	Šī apakšfunkcija sastāda katram apmācāmajam mācību vielas atkārtēšanas plānu, ņemot vērā apmācības rezultātus. Plāns ir daļa no atgriezeniskās saites.
Problēmu risināšanas atbalsts	Palīdzības izvade atkarībā no rezultātiem	Šī apakšfunkcija sniedz mājienus, paskaidrojumus, uzvedinošus jautājumus, pareizo risinājumu, lai palīdzētu apmācāmajam, kad viņam/viņai rodas grūtības uzdevuma izpildē. Palīdzības izvade notiek, balstoties uz apmācāmā pašreizējiem apmācības rezultātiem.
	Palīdzības izvade atkarībā no reakcijas/stāvokļa	Šī apakšfunkcija izvada paskaidrojumus, uzvedinošus jautājumus, pareizo risinājumu. Palīdzības izvade notiek, balstoties uz apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli.
	Apmācāmā motivēšana atkarībā no rezultātiem	Šī apakšfunkcija izvada apmācāmajam ziņojumus, kuru mērķis ir vai nu uzslavēt par labiem apmācības rezultātiem, vai arī uzmundrināt pielaisto kļūdu gadījumā un motivēt viņu turpināt apmācību. Palīdzības izvade notiek, balstoties uz apmācāmā pašreizējiem rezultātiem apmācībā.
	Apmācāmā motivēšana atkarībā no reakcijas/stāvokļa	Šī apakšfunkcija izvada apmācāmajam ziņojumus atkarībā no apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa.

Ar mērķi redzēt, cik bagātas un daudzveidīgas ir intelektuālās un adaptīvās funkcijas eksistējošajās IAS, šajā darbā tika veikta vairāku IAS analīze.

1.3. IAS piemēri

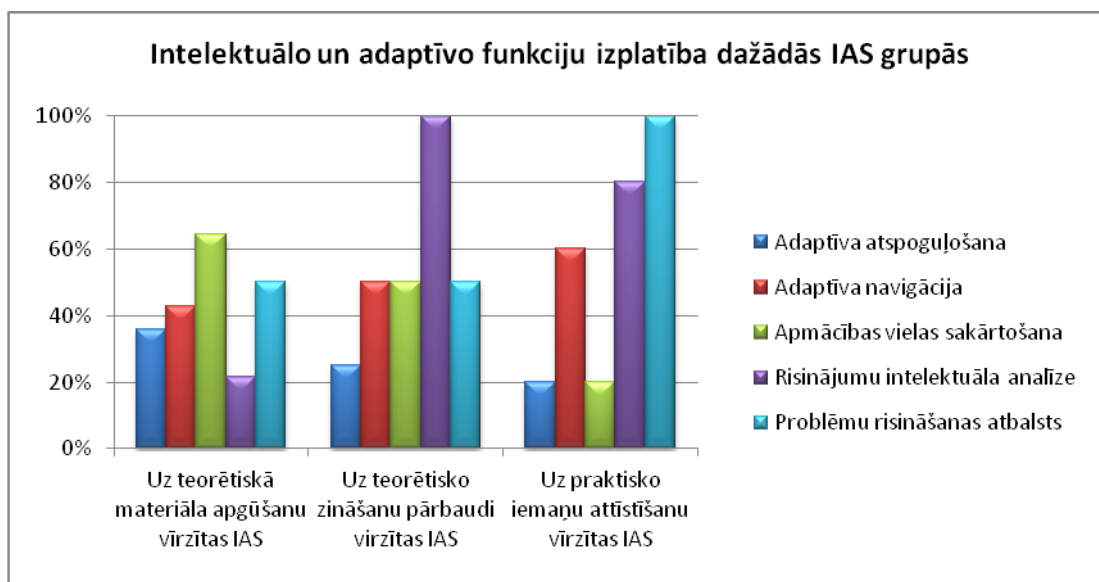
Šobrīd eksistē vairākas IAS klasifikācijas [CIC 2009, COB 2002]. Pēc darba autora domām visveiksmīgākā klasifikācija ir dota darbā [ДУП 2003], jo tā ir pakārtota apmācības procesa trīs galvenajām stadijām: teorijas apgūšanai, teorijas apgūšanas kontrolei un praktisko iemaņu iegūšanai. Saskaņā ar šo klasifikāciju trīs IAS grupas ir:

1. Uz teorētiskā materiāla apgūšanu virzītas IAS. Šīs grupas sistēmu galvenais mērķis ir piegādāt teorētisko materiālu apmācāmajam viņam/viņai ērtā formātā (teksts un/vai

audio/video ieraksti) un beigās pārbaudīt iegūtās zināšanas ar testiem. Šīs grupas ietvaros analīzes mērķiem tika izvēlētas šādas IAS: ABITS [CAP 2000], ActiveMath [MEL 2001], ALLEGRO [VIC 2007], ANDES [GER 2000, SCH 2000], EDUCE [KEL 2003, KEL 2004], ELM-ART [BRU 1999], ERM-Tutor [MAR 2004], FLUTE [DEV 2000], KBS-Hyperbook [HEN 2001], RATH [HOS 1998], SHARP [GIL 2008], SQL-Tutor [MIT 2003], TANGOW [CAR 2000], WILEDS [KAS 2001].

2. Uz teorētisko zināšanu pārbaudi virzītas IAS. Šīs grupas sistēmu galvenais mērķis ir pārbaudīt apmācāmā teorētiskās zināšanas ar testu, eseju vai citu līdzekļu (piemēram, jēdzienu tīklu konstruēšanas) palīdzību. Šīs grupas ietvaros analīzes mērķiem tika izvēlētas šādas IAS: CALKAS [DJO 2000], COMPASS [GOU 2008, GOU 2009], SIETTE [CON 2004], WILLOW [PAS 2011, PER 2006].
3. Uz praktisko iemaņu attīstīšanu virzītas IAS. Šīs grupas sistēmu galvenais mērķis ir attīstīt apmācāmā praktiskās iemaņas, piedāvājot praktisko problēmu risināšanu virtuālajā vidē. Šīs grupas ietvaros analīzes mērķiem tika izvēlētas šādas IAS: ADELE [SHA 1999], AMPLIA [FLO 2004], HPAC [RIC 1997], INES [HOS 2003, NIJ 2005], MAEVIF [IMB 2007].

1.2. attēlā ir parādīta intelektuālo un adaptīvo funkciju izplatība katrā IAS grupā.



1.2. att. Intelektuālās un adaptīvās funkciju izplatība dažādās IAS grupās

Uz teorētiskā materiāla apgūšanu virzītās IAS visizplatītākā funkcija ir apmācības vielas sakārtošana, kas nozīmē individuāla apmācības plāna ģenerēšanu apmācāmajam, ņemot vērā viņa/viņas apmācības mērķus un zināšanu līmeni. Uz teorētisko zināšanu pārbaudi virzītās IAS visizplatītākā funkcija ir risinājuma intelektuālā analīze, kuras rezultātā apmācāmajam

tiek ģenerēta atgriezeniskā saite, kurā ir norādīts, kādas nepilnības ir zināšanās, un kas apmācāmajam ir jādara, lai uzlabotu savas zināšanas. Uz praktisko iemaņu attīstīšanu virzītās IAS vizizplatītākā funkcija ir problēmu risināšanas atbalsts, kas sniedz palīdzību (paskaidrojumus, mājienus, uzvedinošus jautājumus), ja apmācāmajam rodas grūtības ar uzdevuma izpildi.

IAS analīzes laikā ir konstatēts, ka absolūti visās apskatītajās sistēmās ir izmantota studenta modelēšana, kuras rezultātā tiek veidots katra studenta modelis. Bija arī novērota sakarība starp studenta modeļa pilnīgumu un IAS intelektuālo un adaptīvo funkciju daudzveidību: jo mazāk intelektuālo un adaptīvo funkciju ir datorizētai apmācības sistēmai, jo vienkāršāks ir studenta modelis šajā sistēmā un otrādi. Tādējādi, lai paplašinātu kādas IAS intelektuālās un/vai adaptīvās funkcijas, sākumā ir jāizvēlas šīm funkcijām atbilstošais studenta modelis. Studenta modeļa datu un IAS funkciju saistība ir aprakstīta 2. nodaļā.

1. nodaļas kopsavilkums

Apkopojot pirmajā nodaļā analizēto, var izdarīt šādus galvenos secinājumus:

- Mūsdienu IAS jābūt gan intelektuālai, gan adaptīvai. IAS intelektuālās funkcijas izpaužas mākslīgā intelekta metožu pielietošanā apmācības vielas sakārtošanā, risinājumu intelektuālajā analīzē vai problēmu risināšanas atbalstā. Savukārt, IAS adaptīvās funkcijas ir saistītas ar IAS spēju veikt informācijas adaptīvu atspoguļošanu un nodrošināt adaptīvu navigāciju apmācības telpā. IAS adaptīvās funkcijas ir uzskatāmas par IAS galveno vērtību, jo personificēta pieeja apmācībai ir tas, kas paaugstina apmācības procesa efektivitāti.
- IAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas balstās uz studenta modeļa datu izmantošanu. Proti, lai IAS varētu uzvesties intelektuāli un adaptīvi, tai ir jāpārzina apmācāmais. Piemēram, IAS ir jāzin, kādas ir apmācāmā zināšanas problēmsfērā, kāds materiāla atspoguļošanas formāts ir vislabākais utt. Tāpēc studenta izzināšana (jeb modelēšana) ir viens no svarīgākajiem IAS procesiem, un studenta modelis ir jebkuras IAS obligāta sastāvdaļa.
- Starp IAS intelektuālajām un adaptīvajām funkcijām un IAS studenta modeļa datiem pastāv viennozīmīga atbilstība: jo daudzveidīgākas ir IAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas, jo pilnīgāks studenta modelis ir nepieciešams šādai IAS, un otrādi. Tāpēc aktuāls ir uzdevums par IAS pietiekama studenta modeļa izvēli jeb tāda studenta modeļa izvēli, kas satur tieši tādus un tik daudz datu, lai atbalstītu IAS paredzētās intelektuālās un adaptīvās funkcijas.

2. STUDENTA MODEĻA SATURA ANALĪZE

Balstoties uz iepriekšējā nodaļā izdarīto secinājumu par to, ka IAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas balstās uz studenta modeļa datu izmantošanu, darba 2. nodaļā ir veikta studenta modeļa satura analīze, definētas saistības starp IAS intelektuālām un adaptīvām funkcijām un studenta modeļa datiem, un ir aprakstīta izstrādātā programmatūras sistēma „SM builder”, kas automātiski ģenerē studenta modeļa struktūru jebkurai IAS.

2.1. Studenta modeļa definīcija

Darbā [SIS 1998] studenta modeli definē šādi: „*studenta modelis* ir aptuvenš, iespējams daļējs, galvenokārt kvalitatīvs apmācāmā zināšanu atspoguļojums par noteiktu problēmsfēru/ domēnu vai noteiktu tēmu, vai prasmēm problēmsfērā, kas var pilnīgi vai daļēji atbildēt par specifiskiem apmācāmā uzvedības aspektiem”.

Studenta modeļa daži tipiskākie pielietojumi ir [URB 1996, VAN 1988, AHO 2011]:

- studenta modelī atspoguļotie apmācāmā mācību mērķi tiek izmantoti, lai apmācāmajam ģenerētu individuālu mācību plānu;
- studenta modelī atspoguļoto apmācāmā zināšanu līmeni dotajā tematā izmanto, lai izvēlētos apmācāmā pašreizējām spējām piemērotus uzdevumus;
- studenta modelī glabātos datus par apmācāmajam piemērotāko informācijas atspoguļošanas formātu IAS izmanto, lai veiktu mācību materiāla un/vai atgriezeniskās saites adaptīvu atspoguļošanu.

Tādējādi, studenta modeļa dati kalpo par ieejas parametriem pedagoģisko lēmumu pieņemšanā un apmācības vides adaptācijā. Lai labāk saprastu studenta modeļa būtību un redzētu modeļa nozīmi IAS darbā, ir jāizpēta studenta modeļa saturs.

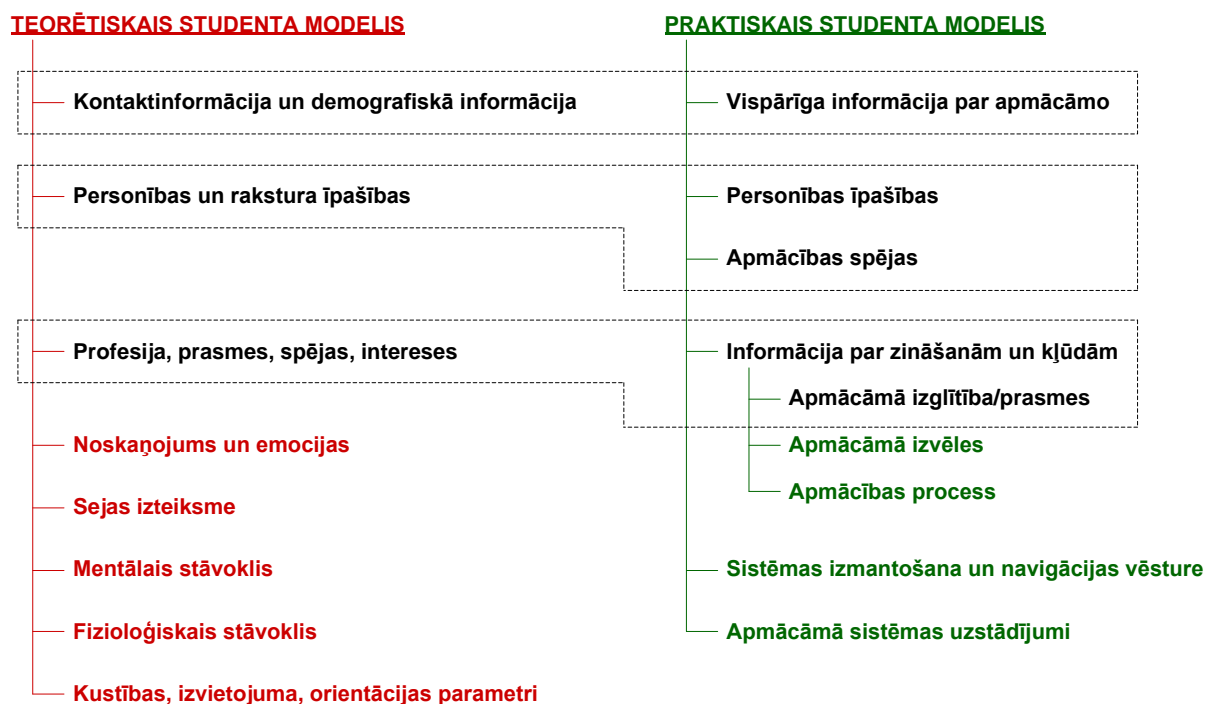
2.2. Studenta modeļa saturs

Promocijas darbā veiktā literatūras analīze par IAS studentu modeļiem liecina, ka pašlaik ir studenta modeļa satura teorētiskais pamatojums (teorētiskais studenta modelis) un ir studentu modeļu praktiskas realizācijas (praktiskie studenta modeļi), bet starp tiem ir būtiskas atšķirības. 2.1. attēlā ir parādīts abu modeļu saturs – informācijas kategorijas katrā modelī. Teorētiskais studenta modelis ir ņemts no darba [HEC 2005], kurā ir aprakstīta GUMO (*angl.* General User Model Ontology) studenta modeļa ontoloģija, kas ir izstrādāta semantiskajam tīmeklim ar mērķi nodrošināt adaptīvas datorsistēmas (tai skaitā IAS) ar vienotu vārdnīcu apmācāmā aprakstīšanai. Savukārt, praktiskais studenta modelis ir iegūts, analizējot studenta

modeļu saturu 23 izvēlētās IAS (sistēmu nosaukumus sk. 1.3. apakšnodaļā). Informācijas kategoriju raksturojumi modeļos ir šādi:

- **Kontaktinformācija un demogrāfiska informācija / Vispārīgā informācijas par apmācāmo.** Šo kategoriju parametri satur vispārīgu informāciju par apmācāmo: vārds, uzvārds, vecums, valoda, izglītības līmenis, e-pasta adrese utt.
- **Personības un rakstura īpašības / Personības īpašības / Apmācības spējas.** Šo kategoriju parametri apraksta pastāvīgus vai lēni mainošos reakcijas/uzvedības paraugus, kas ir raksturīgi apmācāmajam, piemēram, apmācāmais ir ekstraverts vai intraverts, inovatīvs vai konservatīvs, uz domāšanu vai uz jūtām orientēts.
- **Noskaņojums un emocijas.** Šīs kategorijas parametri apraksta apmācāmā īslaicīgu stāvokli, kurā viņš/viņa atrodas no dažām minūtēm līdz dažām dienām, piemēram, apmācāmais ir priecīgs vai neapmierināts, aktīvs vai apātijas stāvoklī.
- **Sejas izteiksme.** Sejas izteiksmju analīze palīdz saprast, kādā emocionālā stāvoklī pašlaik atrodas apmācāmais: viņš/viņa ir aizvainots, nobijies, laimīgs, vai viņam/viņai ir garlaicīgi.
- **Mentālais stāvoklis.** Šīs kategorijas parametri sniedz informāciju par apmācāmā pašreizējo mentālo stāvokli, piemēram, vai apmācāmais ir laikā ierobežots, kāda ir pašreizējā kognitīvā slodze, vai apmācāmais ir depresijā.
- **Fizioloģiskais stāvoklis.** Šīs kategorijas parametri (piemēram, pulss, asinsspiediens, elpošanas biežums) sniedz informāciju par apmācāmā noskaņojumu un emocijām.
- **Profesija, prasmes, spējas, intereses / Apmācāmā izglītība un prasmes.** Šo kategoriju parametri satur informāciju par apmācāmā zināšanām un prasmēm problēmsfērā(-s) pirms IAS lietošanas.
- **Apmācāmā izvēles.** Šīs kategorijas parametri satur informāciju par apmācāmā norādītajiem mērķiem attiecībā uz apmācību (piemēram, kādas tēmas apmācāmais vēlas apgūt) un informāciju par apmācāmā tieši norādītiem zināšanu līmeņiem mācību kursā vai atsevišķās tēmās un/vai jēdzienos.
- **Apmācības process.** Šīs kategorijas parametri satur informāciju par apmācības procesu ar IAS (piemēram, apgūtās tēmas, atrisinātie uzdevumi, pielaistās kļūdas) un informāciju par apmācības rezultātiem (piemēram, kursa/tēmu apgūšanas pakāpes).
- **Sistēmas izmantošana un navigācijas vēsture.** Šīs kategorijas parametri (piemēram, pieprasītā palīdzība – tās veidi un biežums) satur informāciju par to, cik plaši un bieži apmācāmais izmanto sistēmas funkcionālās iespējas.

- **Apmācāmā sistēmas uzstādījumi.** Šīs kategorijas parametri satur informāciju par tiešām apmācāmā izvēlēm attiecībā uz mācību materiālu atspoguļošanas veidu, piemēram, saziņas valoda vai formāts (teksts, audio vai video), kādā apmācāmais vēlas saņemt apmācības materiālus.
- **Kustības, izvietojuma, orientācijas parametri.** Šīs kategorijas parametri (piemēram, apmācāmā izvietojums un kustības ātrums) ir domāti mobilās apmācības idejas atbalstam.



2.1. att. Teorētiskā un praktiskā studentu modeļu salīdzinājums*

*Piezīme: ar melno krāsu ir atzīmētas abu modeļu kopējās daļas, ar sarkano krāsu – teorētiskā modeļa unikālās daļas, ar zaļo krāsu - praktiskā modeļa unikālās daļas

2.1. attēlā var redzēt, ka praktiskā studenta modeļa lielākā atšķirība no teorētiskā studenta modeļa ir tāda, ka praktiskajā studenta modelī nav informācijas par apmācāmā tekošo īslaicīgo stāvokli – noskaņojumu un emocijām, sejas izteiksmi, mentālo un fizioloģisko stāvokli. Šīs informācijas neiekļaušana praktiskajā studenta modelī ir saistīta ar tās savākšanas un apstrādes grūtībām. Piemēram, informācijas par apmācāmā sejas izteiksmi un fizioloģisko stāvokli iegūšanai un analīzei ir nepieciešama speciāla aparatūra un programmatūra [RIK 2008, RIK 2009]. Bet, ņemot vērā to, ka informācija par apmācāmā pašreizējo īslaicīgo stāvokli ir svarīga apmācības procesa adaptācijai [HEC 2005], pievienojot šo informāciju praktiskajam studenta modelim var iegūt pilnu studenta modeli.

Pilns studenta modelis ir tāds studenta modelis, kas satur tik daudz parametru, lai varētu nodrošināt visas IAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas (sk. 1.1. tabulu). Apvienojot abus studentu modeļus, tika iegūts pilns studenta modelis, kura saturs ir dots 2.1. tabulā.

2.1. tabula

Pilna studenta modeļa parametri un to nozīme

Studenta modeļa kategorija	Studenta modeļa parametrs	Parametra paskaidrojums
Kontaktinformācija	Lietotājvārds/parole	Parametri apmācāmā identifikācijai sistēmā un viņa/viņas studenta modeļa aktivizācijai.
	Vārds/uzvārds/ID	Parametri apmācības rezultātu saistībai ar apmācāmo.
	E-pasta adrese	Parametri komunikācijai ar apmācāmo.
Apmācāmā personības īpašības	Mācīšanās stils	Apmācāmā mācīšanās stils pēc Feldera-Silvermanes modeļa (modeļa aprakstu sk. tālāk).
Apmācāmā pašreizējais stāvoklis	Noskaņojums	Šie parametri ir vispārināti. Izstrādātāja pienākums ir sīkāk sadalīt šos parametrus apmācāmā pašreizējā stāvokļa aprakstīšanai.
	Mentālais stāvoklis	
	Sejas izteiksme	
	Fizioloģiskais stāvoklis	
Pašreizējās zināšanas un prasmes	Zināšanu līmenis problēmsfērā	Apmācāmā norādīts vai ar testēšanu iegūts zināšanu līmenis problēmsfērā pirms apmācības uzsākšanas.
Apmācības mērķi	Apmācībai izvēlētās tēmas	Apmācāmā izvēlētās tēmas apgūšanai.
Apmācības progress	Uzdevumu atrisinājumi un rezultāti	Uzdevumu atrisinājumi, kurus ir devis apmācāmais (tai skaitā informācija par pieļautajām kļūdām). Apmācāmā sasniegtie rezultāti uzdevumu izpildē.
	Sniegtā palīdzība	Palīdzība no sistēmas puses, kas tika sniegta apmācāmajam uzdevumu izpildes laikā.
	Mēģinājumu skaits/patērētais laiks	Apmācāmā izdarītais mēģinājumu skaits un patērētais laiks katra uzdevuma atrisināšanai.
	Kursa/tēmu/jēdzienu apgūšanas līmeņi	Mācību kursa un/vai atsevišķo tēmu un/vai atsevišķo jēdzienu apgūšanas līmenis, kurus izrēķina sistēma.
Sistēmas izmantošana	Kursā apskatītās tēmas/izpildītie uzdevumi	Kursa tēmas, kuras apmācāmais ir apskatījis/izstudējis. Kursa uzdevumi, kurus apmācāmais ir atrisinājis.
Lietotāja interfeisa uzstādījumi	Informācijas atspoguļošanas veids	Apmācāmā norādītais informācijas atspoguļošanas veids: teksts, audio vai video.
	Saziņas valoda	Sistēmas interfeisa valoda.

Pilnā studenta modelī ir informācija par apmācāmā mācīšanās stilu, jo ir secināts, ka mācīšanās stilam ir zīmīga ietekme uz apmācības procesa efektivitāti [FAR 2008, GAV 1999, GIL 1999, LIM 2008, БУЖИ 2003]. Ar mācīšanās stilu saprot apmācāmā kognitīvas uzvedības paraugus, kas nosaka, kā apmācāmais uztver un sadarbojas ar apmācības vidi [TIN 2003]. Pilnā studenta modelī mācīšanās stils tiek aprakstīts ar pašlaik visplašāk izplatīto un visvairāk izmantoto Feldera-Silvermanes modeli [GRA 2006, SLE 2002]. Šis modelis sadala apmācāmos kategorijās atkarībā no mācīšanās stila: *sensitīvs* (apmācāmais ir konkrēts,

praktisks, orientēts uz faktiem un procedūrām), *intuitīvs* (apmācāmais ir konceptuāls, inovatīvs, orientēts uz teorijām), *vizuāls* (apmācāmais dod priekšroku attēliem, diagrammām, grafikiem), *verbāls* (apmācāmais dod priekšroku tekstam vai audio informācijai), *induktīvs* (apmācāmais dod priekšroku izskaidrošanai no specifiskā uz vispārīgo), *deduktīvs* (apmācāmais dod priekšroku izskaidrošanai no vispārīgā uz specifisko), *aktīvs* (apmācāmais mācās, eksperimentējot un sadarbojoties ar citiem), *refleksīvs* (apmācāmais mācās, apdomājot lietas vienatnē), *secīgs* (apmācāmais mācās sakārtoti, loģiski pārejot no vienas tēmas uz citu) un *globāls* (apmācāmais mācās nesakārtoti, haotiski pārejot no vienas tēmas uz citām).

Tālāk ir parādīts, kā pilna studenta modeļa dati ir izmantota IAS funkciju atbalstam.

2.3. Studenta modeļa datu izmantošana

Saistības starp IAS funkcijām un pilna studenta modeļa datiem ir parādītas 2.2. tabulā. Saistību definēšana starp studenta modeļa datiem un IAS funkcijām ir balstīta uz literatūras analīzi, kas tika veikta teorētiskā un praktiskā studentu modeļa izveidošanas gaitā, kā arī balstīta uz 23 IAS funkcionalitātes un uzbūves izpēti.

2.2. tabula

Saistības starp IAS funkcijām un pilna studenta modeļa datiem

IAS funkcijas	Pilna studenta modeļa dati, kas tiek izmantoti funkciju atbalstam
Apmācāmā identifikācija sistēmā	Lietotājvārds/parole Vārds/uzvārds/ID E-pasta adrese
Mācību materiāla atspoguļošana atkarībā no izziņas stila	Mācīšanās stils
Mācību materiāla atspoguļošana atkarībā no uztveres formas	Mācīšanās stils Informācijas atspoguļošanas veids
Mācību materiāla atspoguļošana dažādos grūtības līmeņos	Zināšanu līmenis problēmsfērā Kursa/tēmu/jēdzienu apgūšanas līmeņi
Sistēmas lietotāja interfeiss dažādās valodās	Saziņas valoda
Atsauču uz saistītiem palīgmateriāliem parādīšana	Uzdevumu atrisinājumi un rezultāti Mēģinājumu skaits/patērētais laiks
Atsauču uz nākamo tēmu/jautājumu parādīšana	Uzdevumu atrisinājumi un rezultāti Kursa/tēmu/jēdzienu apgūšanas līmeņi Kursā apskatītās tēmas/izpildītie uzdevumi
Apmācības/testēšanas plāna sastādīšana	Zināšanu līmenis problēmsfērā Apmācībai izvēlētas tēmas Uzdevumu atrisinājumi un rezultāti Mēģinājumu skaits/patērētais laiks Kursa/tēmu/jēdzienu apgūšanas līmeņi Kursā apskatītās tēmas/izpildītie uzdevumi
Nākamās tēmas/jautājuma izvēle	Uzdevumu atrisinājumi un rezultāti

Tabulas 2.2. turpinājums

IAS funkcijas	Pilna studenta modeļa dati, kas tiek izmantoti funkciju atbalstam
Apmācāmā darbību pareizības izvērtējums	Uzdevumu atrisinājumi un rezultāti
Apmācāmajam vieglu/grūtu tēmu identificēšana	Uzdevumu atrisinājumi un rezultāti Mēģinājumu skaits/patērētais laiks
Kursa/tēmu/jēdzienu zināšanu līmeņa izskaitļošana	Uzdevumu atrisinājumi un rezultāti
Individuālas atgriezeniskās saites ģenerēšana	Uzdevumu atrisinājumi un rezultāti Mēģinājumu skaits/patērētais laiks Kursa/tēmu/jēdzienu apgūšanas līmeņi Sniegtā palīdzība
Apmācības vielas atkārtēšanas plāna sastādīšana	Uzdevumu atrisinājumi un rezultāti Kursa/tēmu/jēdzienu apgūšanas līmeņi Kursā apskatītās tēmas/izpildītie uzdevumi
Palīdzības izvade atkarībā no rezultātiem	Uzdevumu atrisinājumi un rezultāti Mēģinājumu skaits/patērētais laiks
Palīdzības izvade atkarībā no reakcijas/stāvokļa	Sejas izteiksme Fizioloģiskais stāvoklis
Apmācāmā motivēšana atkarībā no rezultātiem	Uzdevumu atrisinājumi un rezultāti Mēģinājumu skaits/patērētais laiks
Apmācāmā motivēšana atkarībā no reakcijas/stāvokļa	Noskaņojums Mentālais stāvoklis Sejas izteiksme Fizioloģiskais stāvoklis

2.2. tabulas satura analīze ļauj izdarīt divus svarīgus secinājumus par izveidoto pilno studenta modeli. Pirmkārt, tabula satur visas IAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas (sk. 1.1. tabulu). Tas nozīmē, ka pilns studenta modelis ir pietiekams tādā ziņā, ka modeļa dati atbalsta visas identificētās IAS funkcijas. Otrkārt, tabula satur visus pilnā studenta modeļa datus (sk. 2.1. tabulu). Tas nozīmē, ka pilns studenta modelis ir efektīvs tādā ziņā, ka tajā nav neizmantoju parametru (proti, katrs parametrs ir izmantots kādas funkcijas atbalstam).

Izstrādātais pilnais studenta modelis kopā ar identificētajām saistībām starp studenta modeļa datiem un IAS funkcijām ir izmantots „SM builder” rīka izstrādē.

2.4. „SM builder” rīks

„SM builder” ir promocijas darba autora izstrādāts rīks, kas ļauj automātiski ģenerēt studenta modeli atkarībā no intelektuālajām un adaptīvajām funkcijām, kuras ir nepieciešams realizēt IAS-ā. Šis rīks ir paredzēts IAS izstrādātājiem, jo tas ļauj noteikt pietiekama studenta modeļa saturu.

Rīka izmantošana ir divu soļu process. Pirmajā solī IAS izstrādātājs izvēlās intelektuālās un adaptīvās funkcijas, kuras ir jārealizē IAS-ā. Otrajā solī izstrādātājs iegūst XML datni, kas satur informāciju par to, kādiem datiem jābūt iekļautiem studenta modelī, lai atbalstītu

izvēlētās intelektuālās un adaptīvās funkcijas. Rīka funkcionalitātes un uzbūves principu detalizēts apraksts ir dots promocijas darba 1. pielikumā.

„SM builder” rīka darbība ir pārbaudīta ar 23 IAS. Pārbaudes process katrai IAS tika organizēts šādi: sākumā IAS intelektuālās un adaptīvas funkcijas tika izvēlētas rīkā, tad tika ģenerēts atbilstošais studenta modelis izvēlēto funkciju atbalstam, un pārbaudes procesa beigās ģenerētais studenta modelis tika salīdzināts ar IAS faktisko studentu modeli, kas ir dots IAS aprakstā. Rīka „SM builder” pārbaudes rezultātā konstatēts, ka 20 gadījumos no 23 (jeb 87% gadījumos) ar rīka palīdzību iegūtie studenta modeļi pēc satura sakrīta ar sistēmās aprakstītajiem studentu modeļiem.

„SM builder” ir izmantots studenta modeļa iegūšanā intelektuālajai zināšanu vērtēšanas sistēmai IKAS, kas ir aprakstīta darba 3. nodaļā.

2. nodaļas kopsavilkums

Apkopojot otrās nodaļas rezultātus, var izdarīt šādus galvenos secinājumus:

- Pašlaik eksistē teorētiskais studenta modelis un studenta modeļu vairākas praktiskas realizācijas. Veiktā analīze liecina, ka teorētiskais un praktiskais studentu modelis atšķiras satura ziņā, neviens no šiem modeļiem pilnā mērā nevar atbalstīt visas IAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas.
- Apvienojot teorētisko un praktiskos studentu modeli, promocijas darbā ir izveidots pilns studenta modelis. Šis modelis, no vienas puses, ir pilns, jo modeļa dati atbalsta visas IAS funkcijas, un no otras puses, tas ir efektīvs, jo tajā nav lieku parametru (proti, katrs parametrs ir izmantots kādas funkcijas atbalstam).
- Uz pilna studenta modeļa pamata ir izstrādāts „SM builder” rīks, kas ļauj automātiski ģenerēt konkrētu studenta modeli atkarībā no intelektuālajām un adaptīvajām funkcijām konkrētas IAS vajadzībām. Rīka pārbaudes rezultāti apliecināja, ka pilns studenta modelis patiešām atbalsta visas IAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas.

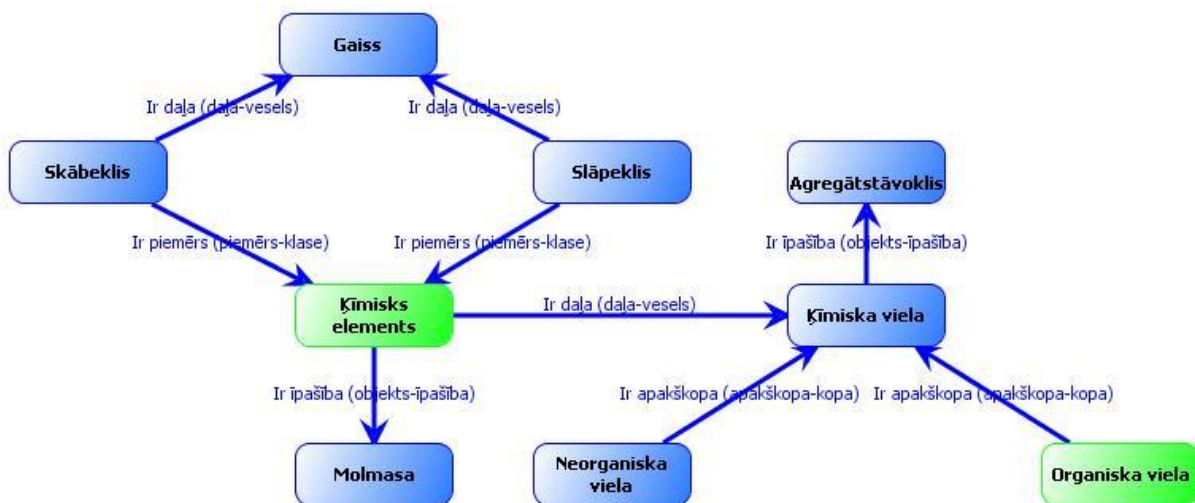
3. IKAS PILNVEIDOŠANAS IESPĒJU ANALĪZE

Šajā nodaļā ir aprakstīta intelektuāla zināšanu vērtēšanas sistēma IKAS pirms promocijas darba autors iesaistījās IKAS izstrādē un pilnveidošanā. Darba 3.1. apakšnodaļā tiek dota IKAS uzbūve, darbības principi, intelektuālās un adaptīvās funkcijas, studenta modeļa saturs, sistēmas izmantošanas rezultāti. 3.2. apakšnodaļā ir definētas prasības IKAS intelektuālo un adaptīvo funkciju paplašināšanai un 3.3. apakšnodaļā ar „SM builder” rīka palīdzību ir ģenerēts jauns studenta modelis, kas ir integrēts IKAS-ā.

3.1. IKAS apraksts

IKAS (*angl.* **I**ntelligent **K**nowledge **A**ssessment **S**ystem) [ANO 2006b, GRU 2009b, VIL 2008] ir datorizēta zināšanu vērtēšanas sistēma, kuru 2005. gadā sāka izstrādāt Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātes Sistēmu teoriju un projektēšanas katedras pētnieki. Zināšanu vērtēšanai IKAS-ā tiek izmantoti jēdzienu tīkli, kurus 1970.-ajos gados apmācībā ir ieviesis Novaks [NOV 2008].

Jēdzienu tīkls ir viens no zināšanu atspoguļošanas veidiem. Jēdzienu tīklu attēlo grafa veidā, kas sastāv no: (1) virsotņu kopas, kura atbilst jēdzieniem, un (2) loču kopas, kas atbilst attiecībām starp jēdzienu pāriem. Aprakstošā frāze uz loka apzīmē attiecības veidu starp jēdzieniem. Trijnieks „jēdziens-attiecība-jēdziens” ir jēdzienu tīkla semantiskā vienība, kas atbilst kādam nozīmīgam apgalvojumam par problēmsfēras kādu objektu vai notikumu [CAN 2003]. Jēdzienu tīkla piemērs ķīmijas jomā ir dots 3.1. attēlā.



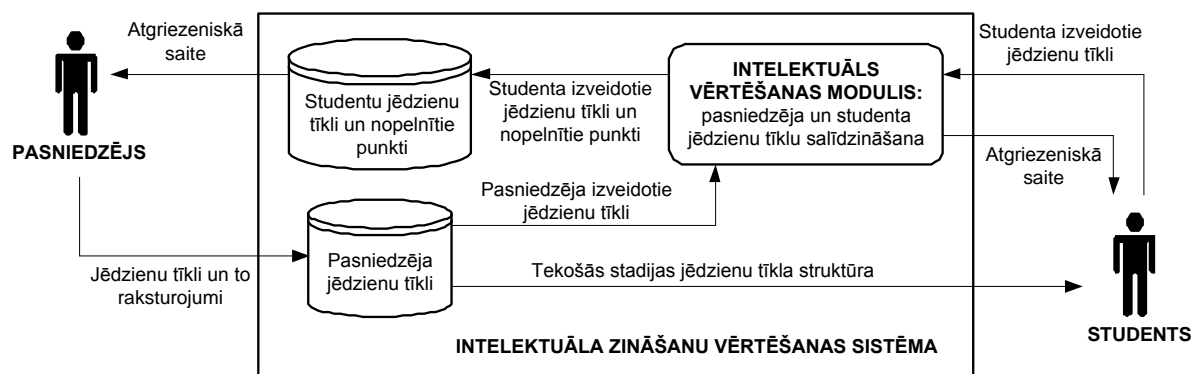
3.1. att. Jēdzienu tīkla piemērs

Jēdzienu tīkla konstruēšana soli pa solim un vairāku jēdzienu tīklu secīga konstruēšana atspoguļo apmācāmā evolūciju problēmsfēras izpratnē [ROC 2004]. Saskaņā ar [CAN 2003] jēdzienu tīkli veicina labi strukturētu zināšanu apguvi un palīdz eksternalizēt apmācāmā konceptuālās zināšanas dotajā problēmsfērā.

IKAS unikāla īpašība salīdzinājumā ar citām zināšanu vērtēšanas datorsistēmām (RFA [CON 2006], JavaMapper [HIS 2002], Verified Concept Mapper [CIM 2003], Compass [GOU 2004], HIMATT [PIR 2008]) ir iespēja pasniedzējam veikt sistemātisku zināšanu vērtēšanu, sadalot mācību kursu stadijās un piedāvājot apmācāmajiem jēdzienu tīklos balstītos zināšanu vērtēšanas uzdevumus pēc katras stadijas. Stadija ir jebkura loģiski pabeigta mācību kursa daļa, piemēram, nodaļa vai tēma. Pasniedzējs pirmajā jēdzienu tīklā ietver jēdzienus,

kas tiek mācīti mācību kursa sākuma stadijā, un attieksmes starp tiem. Nākošajā stadijā pasniedzējs paplašina sākotnēji izveidoto jēdzienu tīklu, pievienojot jaunus jēdzienus un attieksmes, bet nemainot attieksmes starp jau tīklā esošajiem jēdzieniem. Pēdējās stadijas jēdzienu tīkls atspoguļo visus jēdzienus mācību kursā un attieksmes starp tiem. Tādējādi, sistemātiska zināšanu vērtēšana ļauj pasniedzējam redzēt progresu apmācāmo zināšanās un pēc vajadzības mainīt mācību metodes, lai veicinātu mācību kursa apgūšanu [GRU 2008].

Jēdzienu tīklos sakņoto datorizētu zināšanu vērtēšanas sistēmu IKAS izmanto šādā veidā (sk. 3.2. attēlu). Vispirms, pasniedzējs ar sistēmas interfeisu izveido un publicē jēdzienu tīklus katrai mācību kursa stadijai. Tālāk zināšanu vērtēšanas laikā apmācāmais saņem mācību stadijai atbilstošu uzdevumu un no dotā jēdzienu saraksta izveido savu jēdzienu tīklu šai stadijai. Kad apmācāmais ir apstiprinājis savu risinājumu, sistēma veic tā analīzi, salīdzinot apmācāmā un pasniedzēja jēdzienu tīklus. Pēc analīzes apmācāmais saņem atgriezenisko saiti par uzdevuma izpildi, kas satur: maksimālo punktu skaitu, ko apmācāmais varēja iegūt, pilnīgi pareizi izpildot dotās mācību stadijas uzdevumu; punktu skaitu, ko apmācāmais ir ieguvis par uzdevuma izpildi un savu jēdzienu tīklu ar tajā atzīmētajām kļūdām. Pasniedzējs var arī apskatīties katra apmācāmā jēdzienu tīklu un iegūtos punktus.



3.2. att. IKAS izmantošanas scenārijs

IKAS-ā (atšķirībā no citām jēdzienu tīklos sakņotām zināšanu vērtēšanas sistēmām) katram jēdzienu tīklam ir iespējami seši dažāda tipa uzdevumi, kuri ir sakārtoti no vieglākā uz grūtāko, ņemot vērā to, kāda informācija apmācāmajam ir dota, un kas viņam pašam ir jāizdara (uzdevumu pilnu sarakstu sk. 3.1. tabulā). Uzsākot uzdevuma izpildi, apmācāmajam tiek dots tās grūtības pakāpes uzdevums, kas atbilst pasniedzēja norādītajai sākotnējai grūtības pakāpei. Pildot uzdevumu, apmācāmais var pieprasīt samazināt uzdevuma grūtību, par vienu pakāpi, ja rodas grūtības uzdevuma izpildē. Bet, ja apmācāmais ir sasniedzis labus rezultātus uzdevuma izpildē, tad nākošajā uzdevumā sistēma viņam automātiski paaugstina izpildāmā

uzdevuma grūtības pakāpi par vienu pakāpi augstāk. Tādā veidā izpaužas IKAS adaptīvā reakcija uz apmācāmā uzvedību un rezultātiem apmācībā [ANO 2011, LUK 2010].

3.1. tabula

Uzdevumu tipi IKAS-ā [ANO 2011]

Grūtības pakāpe	Uzdevuma tips	Jēdzienu tīkla struktūra	Jēdzieni	Attieksmju aprakstošās frāzes
1. – visvieglākā	Jēdzienu tīkla aizpildīšana	Ir dota	Viena daļa ir ievietota struktūrā, otra daļa ir dota sarakstā un tos jāievieto apmācāmajam	Ir ievietotas tīkla struktūrā
2.			Ir doti sarakstā un tos jāievieto apmācāmajam	Netiek izmantotas
3.				Ir dotas sarakstā un tās jāievieto apmācāmajam
4.				Netiek izmantotas
5.	Jēdzienu tīkla izveide	Nav dota	Ir doti sarakstā un tos jāsaista apmācāmajam	Ir dotas sarakstā un tās jāievieto apmācāmajam
6. – visgrūtākā				

IKAS praktiskā izmantošana sākās 2005. gadā. Kopš tā laika sistēma ir izmantota vairākos mācību priekšmetos studentu zināšanu vērtēšanā: „Informācijas sistēmu analīze un realizācija”, „Modelēšana un formāla specifikācija”, „Sistēmu teorijas metodes”, „Mākslīgā intelekta pamati”, „Pedagoģija”, „Diskrētas struktūras datorzinātnē”, „Semantiskais tīmeklis”, „Lietišķā programmatūra”. Kopumā sistēmas izmantošanā ir piedalījušies 357 studenti.

Katrā priekšmetā tika veikta aptauja, lai noskaidrotu studentu attieksmi pret zināšanu vērtēšanu ar jēdzienu tīkliem un saņemtu priekšlikumus IKAS funkcionalitātes uzlabošanai. Aptaujas rezultāti liecina, ka lielākā daļa studentu (79%) atzinīgi vērtē jēdzienu tīklos sakņotu zināšanu vērtēšanas metodi. Savās atbildēs studenti norādīja, ka jēdzienu tīklos sakņota zināšanu vērtēšana attīsta loģisko domāšanu un palīdz strukturizēt mācību vielu.

Savos komentāros par IKAS tālāko attīstību studenti sniedza šādus padomus: sistēmā jāpaplašina studenta atbalsts uzdevuma izpildes laikā un izvadāmā atgriezeniskā saite uzdevuma beigās, kā arī labāk jālīdzsvaro studenta zināšanu un uzdevuma grūtības pakāpes. Šie studentu komentāri tika ņemti vērā IKAS pilnveidošanas gaitā.

3.2. Prasības IKAS pilnveidošanai

Redzot jēdzienu tīklu pielietojamas potenciālu apmācībā (rīki AXON Idea Processor, Inspiration, Knowledge Master, SMART Ideas, IHMC Cmap Tools un citi [GRU 2008]), kā arī ņemot vērā to, ka studenti atzinīgi vērtē ideju par jēdzienu tīklu pielietojumu jaunu zināšanu iegūšanā, IKAS izstrādātāju komanda (kuras sastāvā bija arī promocijas darba

autors) sāka paplašināt IKAS funkcionalitāti, lai atbalstītu apmācības procesa teorētiskā materiāla apgūšanas stadiju. Šī mērķa realizācija nozīmē, ka IKAS tiek pārveidots par intelektuālo apmācības sistēmu.

IKAS funkcionalitātes paplašināšana tika veikta trīs zinātniski-pētniecisko projektu ietvaros: FLPP-2010/19, ZP-2009/33, R7387. Šo projektu laikā tika izstrādāta koncepcija IKAS pārvēršanai par apmācības sistēmu, kā arī formulētas prasības sistēmas pilnveidošanai, veikts jaunas funkcionalitātes projektējums, sistēmas realizācija un aprobācija mācībuursos.

Piedāvātā koncepcija par IKAS jaunu funkcionalitāti paredz divus jauninājumus. Pirmais ir saistīts ar apmācības materiālu repozitorija piesaistīšanu. Proti, jēdzienu tīkla uzdevumu izpildes laikā apmācāmajam ir iespēja saņemt apmācoša rakstura informāciju par tīklā esošajiem jēdzieniem un tādējādi apmācīties. Savukārt, atgriezeniskajā saitē, kas tiek ģenerēta pēc uzdevuma pabeigšanas, apmācāmais saņem norādes uz apmācības materiāliem, kas var palīdzēt apgūt nepilnīgas zināšanas.

Otrais jauninājums ir saistīts ar pirmās stadijas jēdzienu tīkla uzdevuma pielāgošanu katram apmācāmajam atkarībā no zināšanu līmeņa un/vai izziņas stila. Šī jauninājuma mērķis ir panākt to, lai pirmās stadijas uzdevums nebūtu pārāk sarežģīts apmācāmajiem un atbilstu katra apmācāmā spējām.

No IKAS pilnveidošanas koncepcijas darba gaitā tika izstrādātas prasības sistēmas jaunajai funkcionalitātei. Šīs prasības ir atspoguļotas 3.2. tabulā.

3.2. tabula

Prasības IKAS pilnveidošanai

Prasība IKAS pilnveidošanai	Prasības atbilstība studentu vēlmēm	Prasības atbilstība IAS intelektuālai/adaptīvai funkcijai
1. Nodrošināt iespēju apmācāmajam pēc pieprasījuma saņemt izvēlētā jēdziena skaidrojumu (definīciju, aprakstu, pielietošanas piemēru). Jēdzienu skaidrojuma veidam jābūt adaptētam apmācāmā vēlmēm un viņa/viņas uzvedībai sistēmā.	Sistēmā jāpaplašina apmācāmā atbalsts uzdevuma izpildes laikā	Mācību materiāla atspoguļošana atkarībā no uztveres formas
2. Pēc kārtējā uzdevuma izpildes izskaitļot katra jēdziena apgūšanas pakāpi un paziņot apmācāmajam par tiem jēdzieniem, kas prasa atkārtošānu.	Sistēmā jāpaplašina izvadāmā atgriezeniskā saite pēc uzdevuma izpildes	Kursa/tēmu/jēdzienu zināšanu līmeņa izskaitļošana Apmācības vielas atkārtošānu plāna sastādīšana
3. Izvēlēties uzdevuma sākotnējo grūtības pakāpi atkarībā no apmācāmā zināšanu līmeņa un mācīšanās stila.	Sistēmā jānodrošina apmācāmā zināšanu un uzdevuma grūtības pakāpes labāka līdzsvarošana	Mācību materiāla atspoguļošana dažādos grūtības līmeņos Mācību materiāla atspoguļošana atkarībā no izziņas stila

Jauno prasību realizācijai tika paplašinātas IKAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas un ar „SM builder” rīku iegūts šīm funkcijām atbilstošais studenta modeli. 3.3. attēlā ir redzamas IKAS visas intelektuālās un adaptīvās funkcijas un IKAS pilna studenta modeļa saturs pēc sistēmas pilnveidošanas.

IKAS funkcijas

- Apmācāmā identifikācija sistēmā
- Mācību materiāla atspoguļošana atkarībā no izziņas stila
- Mācību materiāla atspoguļošana atkarībā no uztveres formas
- Mācību materiāla atspoguļošana dažādos grūtības līmeņos
- Sistēmas lietotāja interfeiss dažādās valodās
- Apmācāmā darbību pareizības izvērtējums
- Individuālas atgriezeniskās saites ģenerēšana
- Kursa/tēmu/jēdzienu zināšanu līmeņa izskaitļošana
- Apmācības vielas atkārtotības plāna sastādīšana

IKAS studenta modelis

- Studenta vārds/uzvārds/ID
- Lietotājvārds/parole
- E-pasta adrese
- Mācīšanās stils
- Zināšanu līmenis problēmsfērā
- Studenta izveidotie un pārbaudītie jēdzienu tīkli
- Nopelnītie punkti par jēdzienu tīkliem
- Patērētais laiks uzdevumu izpildei
- Kursa/tēmu/jēdzienu apgūšanas līmeņi
- Informācijas atspoguļošanas veids
- Saziņas valoda

3.3. att. IKAS funkcijas un studenta modeļa saturs pēc sistēmas pilnveidošanas

**Piezīme:* ar melno krāsu ir atzīmētas funkcijas un studenta modeļa dati, kas bija IKAS-ā pirms pilnveidošanas, ar zilo krāsu ir atzīmēti papildinājumi (t.i. IKAS jaunās funkcijas un IKAS studenta modeļa jaunie dati)

IKAS jaunās funkcionalitātes realizācijas detaļas ir aprakstītas darba 4. nodaļā.

3. nodaļas kopsavilkums

Apkopojot trešās nodaļas rezultātus, var izdarīt šādus galvenos secinājumus:

- RTU izstrādātās zināšanu vērtēšanas sistēmas IKAS aprobācijas rezultāti liecināja, ka sistēmas intelektuālās un adaptīvās funkcijas nav pietiekamas apmācāmajiem. Piemēram, sistēmā nebija tādas atgriezeniskās saites, kas norādītu apmācāmajiem uz nepilnībām viņu zināšanās un pirmā posma uzdevuma adaptācijas apmācāmajam.
- Ar mērķi padarīt IKAS adaptīvāku un lietderīgāku apmācāmajiem un pārvērst IKAS par sistēmu, kas atbalsta arī jaunu zināšanu iegūšanu, promocijas darbā tiek piedāvāta IKAS funkcionēšanas jauna koncepcija un definētas prasības IKAS pilnveidošanai. IKAS jaunās funkcionalitātes atbalstam ar „SM builder” rīku ir ģenerēts jauns studenta modelis.

4. IKAS JAUNĀS FUNKCIONALITĀTES REALIZĀCIJA

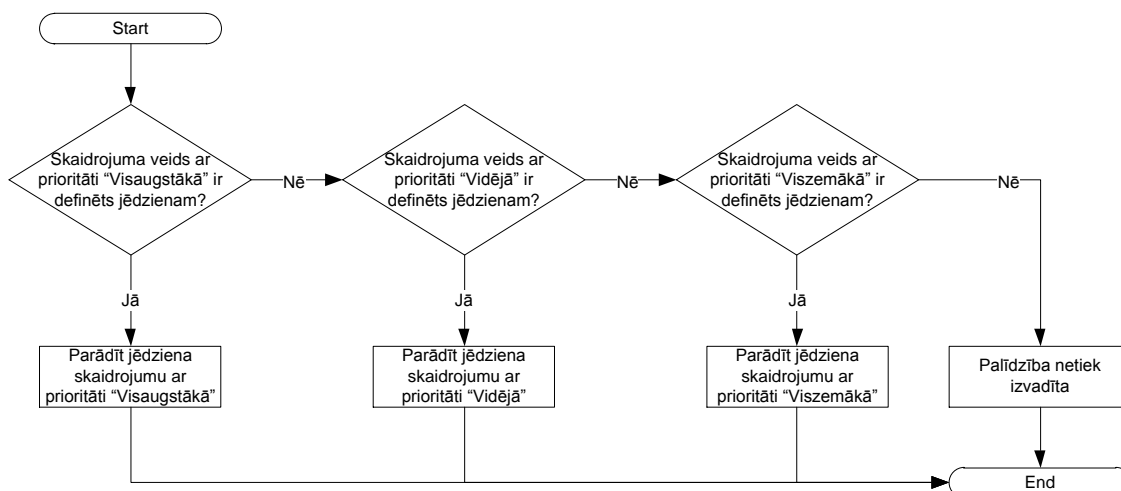
Balstoties uz iepriekšējā nodaļā definētajām prasībām IKAS pilnveidošanai, darba 4. nodaļā ir aprakstīta šo prasību tehniskā realizācija.

4.1. Prasības „Jēdzienu izskaidrošana” realizācija

Prasība „Jēdzienu izskaidrošana” paredz to, ka apmācāmajam ir iespēja uzdevuma izpildes laikā pieprasīt no sistēmas izskaidrot izvēlēto jēdzienu, lai tas kļūtu saprotamāks pēc būtības un skaidrākas kļūtu jēdziena iespējamās attiecsmes ar citiem jēdzieniem. Tādējādi, apmācāmais iegūst jaunas zināšanas problēmsfērā.

Jēdziena izskaidrošana ir pieejama trīs dažādos veidos: *definīcija* (šis skaidrojuma veids sniedz jēdziena definīciju), *apraksts* (šis skaidrojuma veids sniedz jēdziena aprakstu brīvā teksta formā) un *piemērs* (šis skaidrojuma veids sniedz piemēru, kas attiecas uz jēdziena lietošanu, šim nolūkam izmantojot attēlu ar jēdzienu tīkla fragmentu). Skaidrojumu pievienošanu jēdzieniem veic pasniedzējs tīklu izveides laikā.

Skaidrojuma izvade notiek saskaņā ar skaidrojumu veidu prioritātēm (sk. 4.1. att.). Pēc noklusējuma IKAS-ā ir uzstādītas šādas prioritātes: definīcija – visaugstākā, apraksts – vidējā, piemērs – viszemākā. Šīs prioritātes balstās uz IKAS eksperimentālās pārbaudes rezultātiem.



4.1. att. Algoritms skaidrojuma veida izvēlei

Sistēmas izmantošanas gaitā var gadīties, ka apmācāmajam neder pēc noklusējuma uzstādītās skaidrojumu veidu prioritātes. Piemēram, apmācāmajam kā pirmā tiek parādīta jēdziena definīcija, bet apmācāmais visu laiku pāriet pie apraksta, lai iegūtu informāciju par jēdzienu. Tāpēc IKAS-ā ir realizēts skaidrojumu prioritāšu adaptīvās maiņas algoritms, kura būtība ir šāda: ja uzdevuma izpildes beigās, apkopojot jēdzienu skaidrojumu izmantošanas statistiku, sistēma secina, ka apmācāmais visvairāk ir izmantojis aprakstu kā skaidrojuma veidu, tas nozīmē, ka tieši šis skaidrojuma veids šim apmācāmajam ir visinformatīvākais. Tāpēc, sākot ar nākamo uzdevumu, IKAS piešķir aprakstam visaugstāko prioritāti, lai tas tiktu izvadīts kā pirmais katra jēdziena izskaidrošanas gadījumā šim konkrētajam apmācāmajam.

4.2. Prasības „Jēdzienu apgūšanas pakāpes” realizācija

Prasība „Jēdzienu apgūšanas pakāpes” paredz to, ka uzdevuma izpildes beigās IKAS izskaitļo katra jēdziena apgūšanas pakāpi (JAP) un paziņo apmācāmajam par tiem jēdzieniem, kas jāapgūst atkārtoti. Šī atgriezeniskā saite ļauj apmācāmajam redzēt, cik labi uz doto apmācības brīdi viņš/viņa pārzina katru jēdzienu no problēmsfēras un kādas zināšanas trūkst.

Jēdziena apgūšanas pakāpes izskaitļošanai tiek izmantota šāda formula:

$$JAP_{(i)} = \frac{AP_{(i)ien.} + AP_{(i)iz.}}{AP_{(i)ien.}^{max} + AP_{(i)iz.}^{max}} \cdot 100\% \quad (4.1)$$

kur $JAP_{(i)}$ – i-tā jēdziena apgūšanas pakāpe;

$AP_{(i)ien.}$ – apmācāmā izveidotajā jēdzienā tīklā ar i-to jēdzienu saistīto ienākošo loku pareizība;

$AP_{(i)iz.}$ – apmācāmā izveidotajā jēdzienā tīklā ar i-to jēdzienu saistīto izejošo loku pareizība;

$AP_{(i)ien.}^{max}$ – maksimālais punktu daudzums (tiek iegūts no pasniedzēja izveidotā jēdzienā tīklā), kuru var saņemt, pilnīgi pareizi konstruējot visus ar i-to jēdzienu saistītos ienākošos lokus;

$AP_{(i)iz.}^{max}$ – maksimālais punktu daudzums (tiek iegūts no pasniedzēja izveidotā jēdzienā tīklā), kuru var saņemt, pilnīgi pareizi konstruējot visus ar i-to jēdzienu saistītos izejošos lokus.

Formula (4.1) tika iegūta empīriskā ceļā, par pamatu izmantojot IKAS-ā esošo pieeju apmācāmā izveidotā jēdzienā tīkla pareizības izskaitļošanai (sk. darbu [ANO 2011]).

Tātad pēc kārtējā uzdevuma pabeigšanas IKAS izvada apmācāmajam viņa/viņas jēdzienu apgūšanas pakāpes tabulas veidā. Katrs jēdziens tabulā ir iekrāsots zaļā, dzeltenā vai sarkanā krāsā atkarībā no $JAP_{(i)}$ vērtības. 4.1. tabulā ir redzams, ka jēdzienu apgūšanas intervālu robežu vērtības IKAS-ā ir piesaistītas RTU esošajai 10 ballu atzīmju sistēmai.

4.1. tabula

JAP saistība ar RTU 10 ballu sistēmu

Jēdziena iekrāsojums	Jēdzienu apgūšanas intervāls	Vērtējums 10 ballu skalā
Zaļš	80%-100% (Ļoti labi – Izcili)	10 (izcili)
		9 (teicami)
		8 (ļoti labi)
Dzeltenš	40%-79% (Gandrīz viduvēji – Labi)	7 (labi)
		6 (gandrīz labi)
		5 (viduvēji)
		4 (gandrīz viduvēji)
Sarkans	0%-39% (Neapmierinoši)	3 (vāji)
		2 (ļoti vāji)
		1 (ļoti, ļoti vāji)

Jēdzieni, kas atrodas dzeltenajā un it īpaši sarkanajā intervālā nav ļoti labi apgūti un prasa mācību materiālu izpēti vai atkārtošānu. Tāpēc katram apmācāmajam pēc uzdevuma

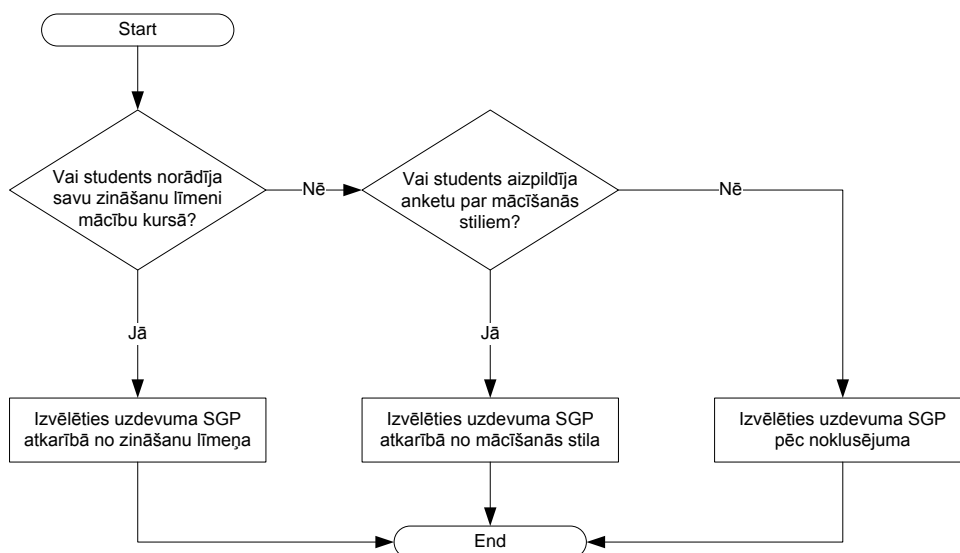
pabeigšanas IKAS ģenerē jēdzienu atkārtošanas sarakstu (JAS), kurā ir iekļauti visi IKAS dzeltenajā un sarkanajā krāsā iekrāsotie jēdzieni.

Papildus atgriezeniskā saite – jēdzienu apgūšanas pakāpes un jēdzienu atkārtošanas saraksts – tiek izvadīta katras zināšanu vērtēšanas stadijas beigās nevis tikai kursa pēdējam uzdevumam. Atgriezeniskās saites savlaicīga saņemšana dod iespēju apmācāmajam redzēt savas apmācības progresu un nepieciešamības gadījumā viņš/viņa var savlaicīgi koriģēt savu studiju plānu, lai labāk sagatavotos gala pārbaudījumam mācību kursa beigās.

4.3. Prasības „Uzdevuma sākotnējā adaptācija” realizācija

Prasība „Uzdevuma sākotnējā adaptācija” paredz to, ka mācību kursa pirmās stadijas uzdevums tiek izvēlēts katram apmācāmajam individuāli atbilstoši diviem kritērijiem – zināšanu līmenim kursā vai mācīšanās stilam. Pirms šīs prasības implementācijas sistēmā pirmās stadijas uzdevums nebija adaptēts un visiem apmācāmajiem tika dots uzdevums ar vienādu grūtības pakāpi, kuru izvēlējās pasniedzējs jēdzienu tīkla publicēšanas laikā.

Minētā trūkuma novēršanai, tika izstrādāts algoritms sākotnējās grūtības pakāpes (SGP) uzstādīšanai (sk 4.2. att.). Jāatzīmē, ka algoritmā zināšanu līmenis tiek uzskatīts par prioritāru attiecībā pret mācīšanās stilu, jo IKAS aprobācijas laikā bija konstatēts, ka adaptācija pēc zināšanu līmeņa ir efektīvāka salīdzinājumā ar adaptāciju pēc mācīšanās stila (sk. 5. nodaļu).



4.2. att. Algoritms uzdevuma sākotnējās grūtības pakāpes uzstādīšanai

Algoritms darbojas šādi: sākumā sistēma pārbauda, vai apmācāmais ir norādījis savu zināšanu līmeni – augsts, vidējs vai zems – mācību kursā; ja apmācāmais ir norādījis zināšanu līmeni, tad sistēma izvēlas uzdevuma SGP atkarībā no zināšanu līmeņa (sk. 4.2. tab.). Atļaut apmācāmajam pašam norādīt savu zināšanu līmeni kursā ir praktiski izmantojama pieeja

studenta modelēšanā (sk. ABITS [CAP 2000], ActiveMath [MEL 2001], SQL-Tutor [MIT 2003], WILLOW [PAS 2011] sistēmās).

4.2. tabula

SGP izvēle atkarībā no zināšanu līmeņa

Apmācāmā norādītais zināšanu līmenis	Zināšanu līmenim atbilstošais vērtējums RTU 10 ballu skalā	Uzstādītā SGP atkarībā no zināšanu līmeņa	Izvēlētā uzdevuma paskaidrojums
Augsts	10 (izcili)	6	Uzdevums, kur tīkla struktūra nav dota. Studentam pašam ir jākonstruē viss tīkls, izvietojot jēdzienus, sasaistot tos ar attieksmēm un norādot attieksmju tipus un nosaukumus.
	9 (teicami)		
	8 (ļoti labi)		
Vidējs	7 (labi)	4	Uzdevums, kur ir dota tīkla struktūra, ir norādītas visas attieksmes, bet attieksmju nosaukumi nav doti. Studentam ir jāievieto jēdzieni vajadzīgajās vietās tīkla struktūrā un jānorāda attieksmju nosaukumi.
	6 (gandrīz labi)		
	5 (viduvēji)		
	4 (gandrīz viduvēji)		
Zems	3 (vāji)	2	Uzdevums, kur ir dota tīkla struktūra, ir norādītas visas attieksmes un to nosaukumi un studentam ir tikai jāievieto jēdzieni vajadzīgajās vietās tīkla struktūrā.
	2 (ļoti vāji)		
	1 (ļoti, ļoti vāji)		

Ja apmācāmais nav norādījis savu zināšanu līmeni mācību kursā, tad sistēma pārbauda, vai students ir aizpildījis elektronisko anketu par mācīšanās stiliem. IKAS-ā tiek izmantota Feldera-Solomones aptaujas anketa [FEL 2010], kas ļauj noskaidrot apmācāmā mācīšanās stilu pēc Feldera-Silvermanes mācīšanās stilu modeļa (modeļa aprakstu sk. šī kopsavilkuma 2.2. apakšnodaļas beigās). Elektroniskā aptaujas anketa ir dota promocijas darba 2. pielikumā.

Tātad, ja apmācāmais ir aizpildījis elektronisko anketu par mācīšanās stiliem, tad sistēma izvēlās uzdevuma SGP atkarībā no mācīšanās stila (sk. 4.3. tab.). Uzdevuma izvēlē ir izmantoti tikai divi no astoņiem mācīšanās stiliem, jo pārējiem stiliem nav saistības ar IKAS-ā esošajiem jēdzienu tīklu uzdevumiem.

4.3. tabula

SGP izvēle atkarībā no mācīšanās stila

Apmācāmā mācīšanās stils	Uzstādītā SGP atkarībā no mācīšanās stila	Izvēlētā uzdevuma paskaidrojums
Globāls	5	Uzdevums, kur ir dots saraksts ar jēdzieniem, bet tīkla struktūra nav dota. Tas ļauj studentam pašam veidot savu jēdzienu tīklu, ļauj domāt globāli un redzēt risinājuma kopējo ainu.
Secīgs	3	Uzdevums, kur ir dots saraksts ar jēdzieniem un tīkla struktūra, kas ļauj studentam loģiski un mazos soļos virzīties uz priekšu sava jēdzienu tīkla veidošanā.

Saskaņā ar algoritmu uzdevuma SGP izvēlei, ja apmācāmais nav norādījis savu zināšanu līmeni kursā un nav aizpildījis aptaujas anketu par mācīšanās stiliem, tad tiek dots uzdevums ar tādu SGP, kuru pasniedzējs ir norādījis pēc noklusējuma šim uzdevumam.

4.4. IKAS pilnveidošanas apkopojums

Augstāk aprakstītā funkcionalitāte paplašina IKAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas un nodrošina to, ka IKAS atbalsta apmācības procesā gan zināšanu iegūšanas, gan zināšanu vērtēšanas stadijas. IKAS jaunās intelektuālās funkcijas ir saistītas ar to, ka IKAS izskaitļo jēdzienu apgūšanas pakāpes un sastāda jēdzienu atkārtošanas individuālu sarakstu katram apmācāmajam. Savukārt, IKAS jaunās adaptīvās funkcijas ir šādas: 1) IKAS izvēlās pirmā uzdevuma grūtības pakāpi atkarībā no apmācāmā zināšanas līmeņa kursā vai mācīšanās stila, 2) IKAS pielāgo jēdzienu skaidrojumu veidu prioritātes katram apmācāmajam.

Jaunās funkcionalitātes atbalstam tika izmantots jaunais, promocijas darbā izstrādātais studenta modelis (sk. 3.3. att.). Šis modelis sistēmā ir apskatāms un modificējams. Tas nozīmē, ka apmācāmajam ir iespēja jebkurā laikā apskatīties sava modeļa saturu un mainīt tā parametru vērtības. Apmācāmajam ir iespēja mainīt vispārīgus datus par sevi, norādīt savu zināšanu līmeni mācībuursos, izpildīt testu par mācīšanās stiliem, pašam izvēlēties skaidrojumu veidu prioritātes un sistēmas interfeisa valodu. Jāatzīmē, ka lēmums veidot atvērtu un modificējamu studenta modeli izrādījās pareizs, ko apstiprina 5. nodaļā aprakstītie aprobācijas rezultāti.

4. nodaļas kopsavilkums

Apkopojot ceturtais nodaļas rezultātus, var izdarīt šādus galvenos secinājumus:

- Ar mērķi paplašināt IKAS funkcionalitāti un padarīt IKAS par datorsistēmu, kas atbalsta gan zināšanu vērtēšanu, gan jaunu zināšanu iegūšanu, tika realizētas trīs prasības: 1) jēdzienu skaidrojumu sniegšana; 2) jēdzienu apgūšanas pakāpju izskaitļošana; 3) pirmās stadijas uzdevuma adaptācija. Ar jaunās funkcionalitātes ieviešanu ir paplašinātas IKAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas.
- Jaunais studenta modelis IKAS-ā ir apskatāms un modificējams. Protī, apmācāmais var redzēt sava modeļa saturu un pēc nepieciešamības mainīt tā parametru vērtības.

5. IKAS JAUNĀS FUNKCIONALITĀTES PĀRBAUDE

Šajā nodaļā ir aprakstītas IKAS jaunās funkcionalitātes aprobācijas process un aprobācijas rezultāti, un ir izdarīti secinājumi par funkcionalitātes lietderību apmācāmajiem.

5.1. IKAS jaunas funkcionalitātes pārbaudes procesa organizēšana

Lai izvērtētu jaunās funkcionalitātes lietderību, ir analizēti statistiskie dati un studentu atbildes aptaujas anketās. Statistiskie dati ir dažāda veida statistika par sistēmas funkciju izmantošanu, kā arī studentu iegūtie rezultāti par uzdevumu izpildīšanu. Šie dati automātiski tiek uzkrāti datubāzē IKAS izmantošanas laikā. Savukārt, atbildes aptaujas anketās ir studentu izteiktie viedokļi par sistēmas dažādiem aspektiem – lietojamību, lietderību utt. Aptaujas anketas drukātā versija ir pieejama promocijas darba 3. pielikumā.

Jaunizstrādātās funkcionalitātes aprobācija notika 2010./2011. akadēmiskajā gadā trijos mācībuursos – „Ievads mākslīgajā intelektā (IMI)”, „Mākslīgā intelekta pamati (MIP)” un „Mākslīgā intelekta pamati: brīvā izvēle (MIPBI)”. Studentu skaits, kas piedalījās aprobācijā un sadalījums pa mācību kursiem ir dots 5.1. tabulā.

5.1. tabula

Studentu skaits un sadalījums jaunās funkcionalitātes aprobācijā

Mācību kurss	Studentu skaits	Aizpildīto aptaujas anketu skaits
Ievads mākslīgajā intelektā (IMI)	34	32
Mākslīgā intelekta pamati (MIP)	233	208
Mākslīga intelekta pamati: brīvā izvēle (MIPBI)	31	21
KOPĀ	298	261

IMI kursu apguva RTU Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātes 2. kursa bakalauri, MIP kursu – 3. kursa bakalauri un MIPBI kursā pieteicās un to apguva RTU dažādu fakultāšu studenti un mācībspēki.

5.2. Prasības „Jēdzienu izskaidrošana” realizācijas novērtējums

5.2. tabulā ir dots savākto datu apkopojums par to, cik daudz studentu izmantoja jēdzienu izskaidrošanu un kādi ir studentu rezultāti apmācībā.

5.2. tabula

Statistiskie dati par to, cik daudz studentu izmantoja jēdzienu izskaidrošanu, un studentu rezultāti par uzdevumu izpildi

Mācību kurss	Studentu kopskaits	Studenti, kas izmantoja jēdzienu izskaidrošanu		Studentu rezultāti par jēdzienu tīklu uzdevumu izpildi (procentuāli no maksimālā rezultāta)
		Skaits	Procents	
IMI	34	12	35%	62%
MIPBI	31	21	68%	55%
MIP	233	69	30%	82%

Eksperimentālā pārbaude apstiprināja, ka jēdzienu izskaidrošanas izmantošanas biežums ir atkarīgs no studenta zināšanu līmeņa mācību kursā. Proti, studenti ar zemāku zināšanu līmeni biežāk pieprasīja jēdzienu izskaidrošanu, lai izpildītu uzdevumu, un otrādi. Kopumā, ņemot vērā to, ka katrā kursā vismaz trešdaļa studentu izmantoja jēdzienu izskaidrošanu, var secināt, ka šī funkcionalitāte ir vajadzīga studentiem kā atbalsts jēdzienu tīkla uzdevuma izpildes laikā.

5.3. tabulā ir dots studentu atbilžu sadalījums aptaujas anketas jautājumā „Vai jēdzienu izskaidrošana atviegloja uzdevuma tālāko izpildi?”.

5.3. tabula

Studentu atbilžu procentuālais sadalījums aptaujas anketas jautājumā „Vai jēdzienu izskaidrošana atviegloja uzdevuma tālāko izpildi?”

Atbilde uz jautājumu	Mācību kurss		
	IMI	MIPBI	MIP
Jā	36%	36%	38%
Daļēji	64%	55%	51%
Nē	0%	9%	11%

5.3. tabulā ir redzams, ka studenti pauda viedokli, ka izstrādātā jēdzienu izskaidrošanas funkcionalitāte vairākumā vai nu atvieglo, vai nu daļēji atvieglo uzdevuma izpildi apmācoša rakstura informācijas sniegšanas dēļ tīkla jēdzieniem.

5.3. Prasības „Jēdzienu apgūšanas pakāpes” realizācijas novērtējums

5.4. tabulā ir dots studentu atbilžu sadalījums aptaujas anketas jautājumā „Vai Jūs apskatījāties savu jēdzienu atkārtēšanas sarakstu?”.

5.4. tabula

Studentu atbilžu procentuālais sadalījums aptaujas anketas jautājumā „Vai Jūs apskatījāties savu jēdzienu atkārtēšanas sarakstu?”

Atbilde uz jautājumu	Mācību kurss		
	IMI	MIPBI	MIP
Jā	83%	87%	74%
Nē	17%	13%	26%

5.4. tabulā ir redzams, ka lielākā daļa studentu visosursos apskatījās savu jēdzienu atkārtēšanas sarakstu. Salīdzinot šīs tabulas datus ar 5.2. tabulas pēdējās kolonas datiem, izriet šāda sakarība: jo zemākus rezultātus sasniedza studenti, jo biežāk viņi apskatīja savu jēdzienu atkārtēšanas sarakstu. Šis secinājums ir pilnīgi loģisks, jo jēdzienu atkārtēšanas saraksts norāda studentiem uz trūkumiem viņu zināšanās un sniedz padomus rezultātu uzlabošanai,

tādēļ atbilstošo jēdzienu atkārtošana visvairāk ir noderīga tiem studentiem, kas uzrāda zemu rezultātu uzdevumu atrisināšanā.

Jēdzienu atkārtošanas plāna lietderību demonstrē 5.5. tabulas dati, kas atspoguļo studentu atbilžu sadalījumu aptaujas anketas jautājumā „Vai Jūs izmantojāt jēdzienu atkārtošanas sarakstu, lai atkārtotu mācību vielu?”.

5.5. tabula

Studentu atbilžu procentuālais sadalījums aptaujas anketas jautājumā „Vai Jūs izmantojāt jēdzienu atkārtošanas sarakstu, lai atkārtotu mācību vielu?”

Atbilde uz jautājumu	Mācību kurss		
	IMI	MIPBI	MIP
Jā	67%	71%	59%
Nē	33%	29%	41%

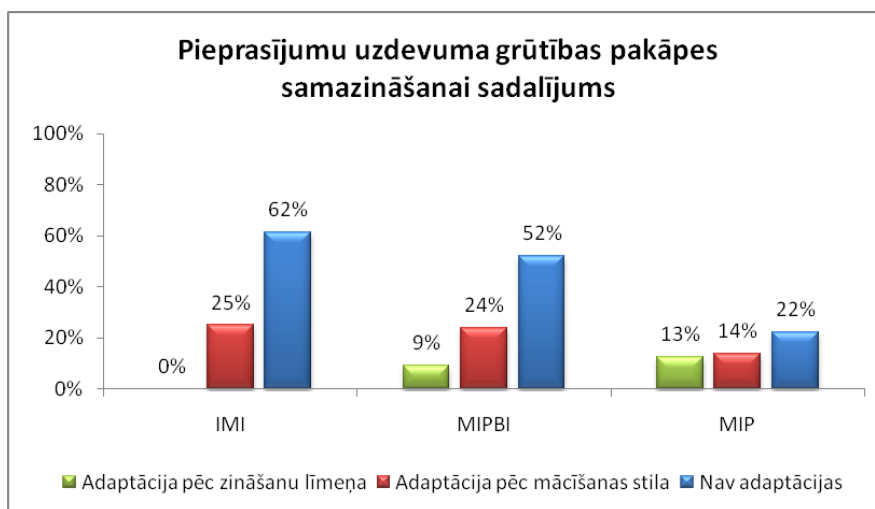
5.5. tabulā ir redzams, ka vidēji divas trešdaļas no tiem studentiem, kas apskatījās savu jēdzienu atkārtošanas sarakstu arī izmantoja šo sarakstu, lai atkārtotu mācību vielu. Tādējādi, var secināt, ka jēdzienu atkārtošanas saraksts bija patiešām noderīgs studentiem. Datu analīzes gaitā tika noskaidrots, ka iemesls tam, kāpēc viena trešdaļa studentu neizmantoja individuālo sarakstu mācību vielas atkārtošanā, ir motivācijas trūkums studentiem atkārtot mācību vielu.

5.4. Prasības „Uzdevuma sākotnējā adaptācija” realizācijas novērtējums

Lai pārbaudītu, kurš no trim uzdevuma grūtības pakāpes adaptācijas veidiem – adaptācija pēc zināšanu līmeņa, adaptācija pēc mācīšanās stila vai vispār nav adaptācijas – ir efektīvākais, visi studenti, kas piedalījās pārbaudē tika sadalīti trijās attiecīgās grupās. Pirmās grupas studentiem pirms vērtēšanas uzdevumu izpildes uzsākšanas vajadzēja norādīt savu zināšanu līmeni kursā. Šai studentu grupai uzdevuma grūtības pakāpes izvēle notika atkarībā no izvēlēta zināšanu līmeņa kursā (sk. 4.2. tab.). Otrās grupas studentiem pirms vērtēšanas uzdevumu izpildes uzsākšanas vajadzēja aizpildīt aptaujas anketu par mācīšanās stiliem. Šai studentu grupai uzdevuma grūtības pakāpes izvēle notika atkarībā no dominējošā mācīšanās stila (sk. 4.3. tab.). Trešās grupas studentiem vajadzēja uzreiz uzsākt vērtēšanas uzdevuma izpildi bez zināšanu līmeņa norādīšanas un aptaujas anketas par mācīšanās stiliem aizpildīšanas. Šai studentu grupai tika dots uzdevums ar tādu grūtības pakāpi, kuru pasniedzējs norādīja pēc noklusējuma šim uzdevumam (aprobācijas gaitā tā bija augstākā 6. grūtības pakāpe).

Lai novērtētu katra adaptācijas veida efektivitāti, tika izanalizēti statistiskie dati par to, cik daudzos gadījumos katra adaptācijas veida ietvaros studenti pieprasīja uzdevuma grūtības

pakāpes samazināšanu, jo katrs šāds pieprasījums liecina par to, ka uzdevuma grūtības pakāpe bija nepareizi izvēlēta. 5.1. attēlā ir apkopota statistika par šādiem pieprasījumiem.



5.1. att. Pieprasījumu uzdevuma grūtības pakāpes samazināšanas procentuālais sadalījums

5.1. attēlā ir redzams, ka visos trijos mācībuursos attiecībā uz pieprasījumu grūtības pakāpes samazināšanas sadalījumu saglabājas kopējā tendence – visbiežāk uzdevuma grūtības pakāpes samazināšanu pieprasīja tie studenti, kam uzdevuma grūtības pakāpe nebija adaptēta (sk. zilos stabiņus 5.1. attēlā). Tālāk seko studenti, kuriem uzdevuma grūtības pakāpes adaptācija tika veikta pēc mācīšanās stila (sk. sarkanos stabiņus 5.1. attēlā), un beidzot visretāk uzdevuma grūtības pakāpes samazināšanu pieprasīja tie studenti, kam adaptācija tika veikta pēc pašu norādītā zināšanu līmeņa (sk. zaļos stabiņus 5.1. attēlā). No šiem rezultātiem izriet, ka visefektīvākā ir adaptācija pēc zināšanu līmeņa, vidēji efektīva ir adaptācija pēc mācīšanas stila un visneefektīvāk ir vispār neveikt uzdevuma grūtības pakāpes adaptāciju.

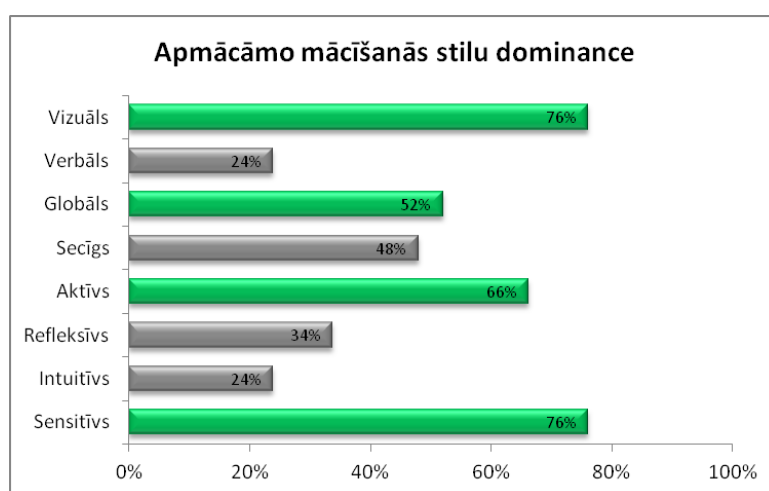
5. nodaļas kopsavilkums

Apkopojot piektās nodaļas rezultātus, var izdarīt šādus galvenos secinājumus:

- Jēdzienu izskaidrošanas funkcionalitāti izmantoja vismaz trešdaļa studentu, kas atzīmēja, ka jēdzienu izskaidrošana vai nu atvieglo (36-38%), vai nu daļēji atvieglo (51-64%) uzdevuma izpildi un ļauj iegūt jaunas zināšanas mācību kursā.
- Jēdzienu atkārtošanas individuālo sarakstu apskatīja lielākā daļa studentu (74-83%) un divas trešdaļas no tiem to izmantoja, lai atkārtotu mācību vielu.
- Uzdevuma sākotnējās grūtības pakāpes izvēlei visefektīvākā ir adaptācija pēc studenta paša norādītā zināšanu līmeņa kursā, vidēji efektīva ir adaptācija pēc studenta mācīšanas stila un visneefektīvāk ir vispār neveikt uzdevuma adaptāciju un visiem studentiem dod uzdevumu ar vienādu sākotnējo grūtības pakāpi.

Kopumā vērtējot padarīto, jāatzīmē, ka jaunās funkcionalitātes ieviešanas rezultātā IKAS kļuva adaptīvāka un lietderīgāka apmācāmajiem un tika sasniegts mērķis pārvērst IKAS par sistēmu, kas atbalsta jaunu zināšanu iegūšanu.

IKAS jaunās funkcionalitātes aprobācijas gaitā tika aizpildītas 154 aptaujas anketas par mācīšanās stiliem. 5.2. attēlā ir doti rezultāti par apmācāmo mācīšanās stiliem Feldera-Silvermanes mācīšanās stilu modelī, kas ir iegūti, apkopojot aptaujas anketas. Attēlā ir redzams, ka mūsdienu apmācāmais ir Vizuāls (dod priekšroku attēliem, diagrammām), Globāls (mācās nesakārtoti, lielos lēcienos), Aktīvs (mācās caur eksperimentēšanu un sadarbību ar citiem) un Sensitīvs (praktisks, orientēts uz faktiem un procedūrām).



5.2. att. Apmācāmo mācīšanās stilu dominace Feldera-Silvermanes mācīšanās stilu modelī*

*Piezīme: rezultāti ir iegūti, apkopojot 154 aptaujas anketas par mācīšanās stiliem

Mūsdienu apmācāmo aktivitātes vēl viens pierādījums ir tāds, ka IKAS pārbaudes laikā trešdaļa apmācāmo apskatījās, kādi dati glabājas viņu studenta modelī un vēl viena trešdaļa mainīja sava studenta modeļa datus. Tas liecina par apmācāmo aktīvu interesi par sava studenta modeļa datu kvalitāti (datu precizitāti un pilnīgumu). Tādējādi, var secināt, ka projektēšanas laikā pieņemtais lēmums veidot IKAS studenta modelim kā apmācāmajam atvērtu un modificējamu bija pareizs.

DARBA KOPĒJIE REZULTĀTI UN SECINĀJUMI

Promocijas darbā tika izvirzīts mērķis identificēt intelektuālo apmācības sistēmu intelektuālās un adaptīvās funkcijas, definēt pēc iespējas pilnīgāka studenta modeļa saturu šo funkciju atbalstam un izstrādāt rīku studenta modeļa automātiskai ģenerēšanai, kā arī paplašināt zināšanu vērtēšanas sistēmas IKAS intelektuālās un adaptīvās funkcijas, veicot arī šo funkciju realizācijā iegūtā efekta eksperimentālo pārbaudi.

Izvirzītā mērķa sasniegšanai ir realizēti šādi uzdevumi:

- apkopota literatūra par intelektuālo apmācības datorsistēmu funkcijām, izdalītas 17 intelektuālās un adaptīvās funkcijas, izanalizēta šo funkciju realizācija 23 izvēlētās intelektuālās apmācības datorsistēmās un secināts, ka intelektuālās un adaptīvās funkcijas balstās uz studenta modeļa datu izmantošanu;
- izanalizēta literatūra par studentu modeļiem un iegūts teorētiskā studenta modeļa saturs. Bez tam izanalizēti studentu modeļi 23 intelektuālās apmācības sistēmās un iegūts praktiskā studenta modeļa saturs. Apvienojot abus modeļus, iegūts pilns studenta modelis;
- definētas saistības starp apmācības datorsistēmu intelektuālajām un adaptīvajām funkcijām un pilna studenta modeļa datiem un izstrādāts „SM builder” rīks, kas automātiski ģenerē studentu modeļus atkarībā no izvēlētajām intelektuālajām un adaptīvajām funkcijām;
- identificēti jēdzienu tīklos sakņotas zināšanu vērtēšanas sistēmas IKAS pilnveidošanas virzieni, kas saistīti ar 1) uzdevuma sākotnējās grūtības pakāpes izvēli apmācāmajam, 2) jēdzienu skaidrojumu sniegšanu uzdevumu izpildes laikā, 3) jēdzienu apgūšanas pakāpju izskaitļošanu un individuāla jēdzienu atkārtības saraksta ģenerēšanu pēc uzdevuma pabeigšanas.

Realizējot IKAS pilnveidošanu, ir atrisināti šādi uzdevumi:

- papildināta IKAS intelektuālo un adaptīvo funkciju kopa un ar izstrādāto rīku „SM builder” ģenerēts jauns studenta modelis visu IKAS intelektuālo un adaptīvo funkciju atbalstam;
- definēts, aprakstīts, grafiski attēlots un IKAS-ā implementēts algoritms, lai adaptīvi izvēlētos jēdzienu tīkla uzdevuma sākotnējo grūtības pakāpi katram apmācāmajam atkarībā no viņa/viņas zināšanu līmeņa mācību kursā un mācīšanas stila;
- definēts, aprakstīts, grafiski attēlots un IKAS-ā implementēts algoritms, lai adaptīvi izvēlētos skaidrojuma veidu (definīciju, aprakstu vai piemēru) katram apmācāmajam;
- izstrādāta formula jēdzienu apgūšanas pakāpju izskaitļošanai un definēts, aprakstīts, grafiski attēlots un IKAS-ā implementēts algoritms individuāla jēdzienu atkārtības saraksta ģenerēšanai apmācāmajam.

Lai pārbaudītu izstrādātos IKAS algoritmus darbībā:

- ir veikta pilnveidotās IKAS aprobācija trīs mācībuursos, iesaistot tajā 298 studentus un saņemot 261 aizpildītas aptaujas anketas par IKAS darbu.

IKAS jaunās funkcionalitātes aprobācijas rezultāti ļauj izdarīt šādus secinājumus:

- jēdzienu izskaidrošana uzdevuma izpildes laikā atvieglo jēdzienu tīkla uzdevuma izpildi un ļauj iegūt jaunas zināšanas mācību kursā;
- jēdzienu atkārtotās saraksts tiek aktīvi izmantots, lai atkārtotu mācību vielu;
- mācību kursa pirmā posma uzdevuma adaptācija pēc apmācāmā zināšanu līmeņa mācību kursā vai apmācāmā mācīšanās stila ļauj ievērojami samazināt studentu neapmierinātību ar uzdevumam izvēlēto grūtības pakāpi salīdzinājumā ar gadījumiem, kad pirmā posma uzdevuma adaptācija netiek veikta;
- jaunās funkcionalitātes ieviešanas rezultātā IKAS kļuva adaptīvāka un lietderīgāka apmācāmajiem un ir sasniegts mērķis pārvērst IKAS par sistēmu, kas atbalsta ne tikai zināšanu vērtēšanu, bet arī jaunu zināšanu iegūšanu;
- mūsdienu apmācāmā mācīšanās stils ir Vizuāls – Globāls – Aktīvs – Sensitīvs; šim mācīšanās stilam atbilst jēdzienu tīklu sakņoto datorsistēmu lietošana apmācībā;
- apmācāmie uzrāda aktīvu interesi par sava studenta modeļa datu kvalitāti (datu precizitāti un datu pilnīgumu), tāpēc studenta modelim jābūt atvērtam un modificējamam.

Iespējamie turpmākie pētījumu virzieni ir:

- IKAS intelektuālo funkciju tālāka paplašināšana, izstrādājot animēto interfeisa aģentu, kas kā virtuāls pasniedzējs sniegs palīdzību uzdevuma izpildes laikā, motivēs un komunicēs ar apmācāmo dialoga režīmā;
- IKAS kā apmācības datorsistēmas pilnveidošana, sasaistot jēdzienu tīklus ar priekšmeta mācību materiāliem (lekciju konspektiem, lekciju prezentācijām, audio/video ierakstiem), lai jēdzienu izskaidrošanas gadījumā apmācāmais saņem visu pieejamo apmācoša rakstura informāciju par jēdzienu atbilstošā formātā.

BIBLIOGRĀFISKAIS SARAKSTS

- [ANO 2006a] Anohina, A. The problem-solving modes and a two-layer model of hints in the intelligent tutoring system for Minimax algorithm. Proceedings of the 1st International Conference on Virtual Learning, Bucharest, Romania, October 27-29, 2006, pp.105-112.
- [ANO 2006b] Anohina, A., Grundspenkis, J. Prototype of Multiagent Knowledge Assessment System for Support of Process Oriented Learning. Proceedings of the 7th International Baltic Conference on Databases and Information Systems, Vilnius, Lithuania, 2006, pp.211-219.

- [ANO 2011] Anohina-Naumecca, A., Grundspenkis, J., Strautmane, M. The Concept Map Based Assessment System: Functional Capabilities, Evolution, and Experimental Results. *International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning*, 2011, Vol. 21, No. 4, pp.308-327.
- [BLO 1956] Bloom, B.S. Taxonomy of educational objectives. Handbook I: The cognitive domain. New York: David McKay Co Inc., 1956, 207p.
- [BRE 2002] Brent, I.M. Intelligent tutoring systems: The practical implementation of constraint-based modelling. University of Canterbury, 2002.
- [BRU 1999] Brusilovsky, P. Adaptive and intelligent technologies for Web-based education. In Rollinger, C., Peylo, C. Special Issue on Intelligent Systems and Teleteaching, *Künstliche Intelligenz*, 1999, Vol.4, pp.19-25.
- [BRU 2001] Brusilovsky, P. Adaptive hypermedia. *User Modeling and User Adapted Interaction*, 2001, Vol.11, pp.87–101.
- [BRU 2003] Brusilovsky, P., Peylo, C. Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 2003, pp.156-169.
- [CAN 2003] Cañas, A.J. A Summary of Literature Pertaining to the Use of Concept Mapping Techniques and Technologies for Education and Performance Support. Technical Report. Pensacola, Florida, 2003.
- [CAP 2000] Capuano, N., Marsella, M., Salerno, S. ABITS: An Agent Based Intelligent Tutoring System for Distance Learning. *Proceedings of the International Workshop on Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems*, Montreal, Canada, 2000.
- [CAR 2000] Carro, R.M., Pulido, E., Rodríguez, P. An object-oriented approach to Task Tree Management in the TANGOW system. *SADIO Electronic Journal of Informatics and Operations Research*, 2000, Vol.3, pp.13-22.
- [CIM 2003] Cimolino, L., Kay, J., Miller, A. Incremental Student Modelling and Reflection by Verified Concept-Mapping. *Online Supplementary Proceedings of Artificial Intelligence in Education Conference*, Sydney, Australia, 2003, pp.219-227.
- [CON 1996] Conati, C., VanLehn, K. Probabilistic plan recognition for cognitive apprenticeship. *Proceedings of the Eighteenth Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 1996, pp.403-408.
- [CON 2004] Conejo, R., Guzmán, E., Millán, E., Trella, M., Pérez-De-La-Cruz, J. L., Ríos, A. SIETTE: A Web-Based Tool for Adaptive Testing. *Journal International Journal of Artificial Intelligence in Education archive*, Amsterdam, The Netherlands, 2004, Vol.14(1), pp.29-61.
- [CON 2006] Conlon, T. Formative Assessment of Classroom Concept Maps: the Reasonable Fallible Analyser. *Journal of Interactive Learning Research*, Vol.17(1), 2006, pp.15-36.

- [CON 2009] Conati, C. Intelligent Tutoring Systems: New Challenges and Directions. Proceedings of the 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2009, pp.2-7.
- [DEV 2000] Devedzic, V., Debenham, J., Popovic, D. Teaching formal languages by an intelligent tutoring system. Educational Technology & Society, 2000, Vol.3, No.2, pp.36-49.
- [DJO 2000] Djordjevic, J., Milenkovic, A., Todorovic, I., Marinov, D. CALKAS: A Computer Architecture Learning and Knowledge Assessment System. IEEE TCCA Newsletter, Belgrade, 2000, pp.26-29.
- [FAR 2008] Farrell, V., Boyle, L., O'Brien, M. Educational software that supports the majority learning style. Proceedings of the EdTech conference, 2008.
- [FEL 2010] Felder, R., Soloman, B. Index of Learning Styles Questionnaire. NC State University. Internet - <http://www.engr.ncsu.edu/learningstyles/ilsweb.html> (accessed 16.01.2010).
- [FLO 2004] Flores, C.D., Gluz, J.C., Vicari, R.M., Seixas, L.J. Amplia Learning Environment: A Proposal for Pedagogical Negotiation. Proceedings of 6th International Conference on Enterprise Information Systems, Porto, Portugal, 2004, Vol.5, pp.279-286.
- [FRA 1997] Frasson, C., Mengelle, T., Aimeur, E. Using pedagogical agents in a multi-strategic intelligent tutoring system. Proceedings of the 8th World Conference on Artificial Intelligence in Education AI-ED97, Workshop V: Pedagogical Agents, Kobe, Japan, 1997, pp.40-47.
- [FRE 2000] Freedman, R. What is an Intelligent Tutoring System? Scientific journal "Intelligence", 2000, Vol.11(3), pp.15-16.
- [GAV 1999] Gavrilova, T., Voinov, A., Lescheva, I. Learner-model approach to multi-agent intelligent distance learning system for program testing. Proceedings of the 12th international conference on Industrial and engineering applications of artificial intelligence and expert systems: multiple approaches to intelligent systems, 1999, pp.440-449.
- [GER 2000] Gertner, A., VanLehn, K. Andes: A Coached Problem Solving Environment for Physics. Intelligent Tutoring Systems: 5th International Conference. Berlin: Springer, 2000, Vol.1839, pp. 133-142.
- [GIL 1999] Gilbert, J., Han, C. Adapting Instruction in Search of "A Significant Difference". Journal of Network and Computer Applications, 1999, Vol.22, pp.149-160.
- [GIL 2008] Gil, A., Rodríguez, R., García, F. J. An Adaptive Hypermedia System Applied to Mathematical Problem Solving. Journal of Universal Computer Science, 2008, vol.14, pp.3099-3113.
- [GOU 2004] Gouli, E., Gogoulou, A., Papanikolaou, K., Grigoriadou, M. COMPASS: an adaptive Web-based concept map assessment tool. Proceedings of the 1st International Conference on Concept Mapping, Pamplona, Spain, September 14-17, 2004, 8p.

- [GOU 2008] Gouli, E., Gogoulou, A., Alexopoulos, A., Grigoriadou, M. Exploiting COMPASS as a Tool for Teaching and Learning. Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping, Helsinki, Finland, 2008, Vol.2, pp.383-390.
- [GOU 2009] Gouli, E., Gogoulou, A., Grigoriadou, M. Working with COMPASS: Analyzing and Evaluating Students Concept Maps. Proceedings of the IADIS International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age, Italy, Rome, 2009, pp.85-92.
- [GRA 2006] Graf, S., Viola, S., Kinshuk, T.L. Representative Characteristics of Felder-Silverman Learning Styles: an Empirical Model. Proceedings of the IADIS International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age, 2006, pp.235-242.
- [GRU 2008] Grundspenkis, J. Development of Concept Map Based Adaptive Knowledge Assessment System. IADIS International Conference e-Learning 2008, Vol.1(2), pp.395-402.
- [GRU 2009a] Grundspenkis, J., A.Anohina. Evolution of the Concept Map Based Adaptive Knowledge Assessment System: Implementation and Evaluation Results. Proceedings of the 49th Scientific Conference at Riga Technical University, Riga, Latvia, October 15, 2009, pp.13-24.
- [GRU 2009b] Grundspenkis, J. Concept Maps as Knowledge Assessment Tool: Results of Practical Use of Intelligent Knowledge Assessment System. Proceedings of the IADIS International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age, Rome, Italy, 2009, pp.258-266.
- [HEC 2005] Heckmann, D. Ubiquitous User Modeling. German National Library, 2005.
- [HEN 2001] Henze, N., Nejd, W. Adaptation in Open Corpus Hypermedia. International Journal of Artificial Intelligence in Education, Hannover, Germany, 2001.
- [HIS 2002] Hsieh, I.L.G., O'Neil, H.F. Types of Feedback in a Computer-Based Collaborative Problem-Solving Group Task. Computers in Human Behavior, Vol.18(6), 2002, pp.699-715.
- [HOS 1998] Hoskemeyer, C., Neld, T., Albert, D. A Relational Adaptive Tutoring Hypertext WWW- Environment Based on Knowledge Space Theory. Proceedings of the Fourth International Conference on Computer Aided Learning in Science and Engineering, Goteborg, Sweden, 1998, pp.417-423.
- [HOS 2003] Hospers, M., Kroezen, E., Nijholt, A., Akker, R., Heylen, D. An Agent-based Intelligent Tutoring System for Nurse Education. CTIT technical report series, Basel, 2003, pp.143-159.
- [IMB 2007] Imbert, R., Sánchez, L., Antonio, A., Méndez, G., Ramírez, J. A Multiagent Extension for Virtual Reality Based Intelligent Tutoring Systems. Proceedings of the 7th IEEE

- International Conference on Advanced Learning Technologies, Niigata, Japan, 2007, pp.82-84.
- [KAS 2001] Kassim, A.A., Ahmed, K.S., Ranganath, S. A Web-Based Intelligent Approach To Tutoring, 2001.
- [KEL 2002] Kelly, D., Tangney, B. Incorporating learning characteristics into an intelligent tutor. Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Biarritz, France and San Sebastian, Spain, June 2-7, 2002, pp.729-738.
- [KEL 2003] Kelly, D. A Framework for using Multiple Intelligences in an ITS. Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications, 2003, pp.2423-2430.
- [KEL 2004] Kelly, D., Tangney, B. Empirical Evaluation of an Adaptive Multiple Intelligence Based Tutoring System. Adaptive Hypermedia, 2004, pp.308-311.
- [KIN 2004] Kinshuk, C. Application of Adaptivity in Quiz Systems. Third Pan Commonwealth Forum on Open Learning, 2004, pp.1-11.
- [KOE 2006] Koedinger, K.R., Corbett, A. Cognitive Tutors: Technology bringing learning science to the classroom. The Cambridge Handbook of the Learning Sciences, Cambridge University Press, 2006, pp.61-78.
- [LAZ 2007] Lazarinis, F., Retalis, S. Analyze Me: Open Learner Model in an Adaptive Web Testing System. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2007, Vol.17, pp.255-271.
- [LIE 2000] Liegle, J.O., Han-Gyun, W. Developing adaptive intelligent tutoring systems: a general framework and its implementations. Proceedings of the ISECON Conference, Philadelphia, November 9-12, 2000, 8p.
- [LIM 2008] Limongelli, C., Sciarrone, F, Temperini, M, Vaste, G. Lecompas5: a Web-Based Learning System for Course Personalization and Adaptation. Proceedings on the IADIS International Conference e-Learning, 2008.
- [LUK 2010] Lukashenko, R, Anohina-Naumecca, A., Vilkelis, M., Grundspenkis, J. Feedback in the Concept Map Based Intelligent Knowledge Assessment System. RTU, 2010, Vol.41, pp.17-26.
- [MAR 2004] Marshall, M. ERM-Tutor an ER-to-Relational Mapping Tutor. Canterbury, 2004.
- [MEL 2001] Melis, E., Andrès, E., Büdenbender, J., Frischauf, A., Gogvadze, G., Libbrecht, P., Pollet, M., Ullrich, C. ActiveMath: A Generic and Adaptive Web-Based Learning Environment. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2001, Vol.12, pp.385-407.
- [MIT 2003] Mitrovic, A., An Intelligent SQL Tutor on the Web. Intelligent Computer Tutoring Group, International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2003, Vol.13, pp.171-195.

- [MON 1995] Montgomery, S. Addressing Diverse Learning Styles Through the Use of Multimedia. Proceedings of the ASEE/IEEE FIE 95 Conference, 1995, Vol.1, pp.3a2.13-3a2.21.
- [MUR 1999] Murray, T. Authoring Intelligent Tutoring Systems: An Analysis of the State of the Art. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 1999, Vol.10, pp.98-129.
- [NIJ 2005] Nijholt, A., Kole, S., Zwiers, J. Multimodal Interaction in a Haptic Environment. Proceedings of the First Joint Eurohaptics Conf and Symp Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems World Haptics, Washington, USA, 2005, pp.467-470.
- [NOV 2008] Novak, J.D. and Cañas, A.J. The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them. Technical Report. Pensacola, Florida, 2008.
- [OHL 1987] Ohlsson, S. Some Principles of Intelligent Tutoring. In Lawler & Yazdani (Eds.), Artificial Intelligence and Education. Ablex: Norwood, NJ, 1987, Vol.1., pp.203-238.
- [PAS 2011] Pascual-Nieto, I., Santos, O.C., Perez-Marin, D., Boticario, J.G. Extending Computer Assisted Assessment Systems with Natural Language Processing, User Modeling and Recommendations Based on Human Computer Interaction and Data Mining. IJCAI/JCAI/AAAI, 2011, pp.2519-2524.
- [PER 2006] Pérez-Marín, D., Alfonseca, E., Rodríguez, P., Pascual-Nieto, I. Willow: Automatic and adaptive assessment of students free-text answers. Proceedings of the 22nd International Conference of the Spanish Society for the Natural Language Processing, 2006.
- [PIR 2008] Pirnau-Dummer, P., Ifenthaler, D., Spector, J.M. Highly Integrated Model Assessment Technology and Tools. Proceedings of the IADIS International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age, Freiburg, Germany, 2008, pp.18-28.
- [RIC 1997] Rickel, J., Johnson, W.L., Intelligent Tutoring in Virtual Reality: A Preliminary Report , In Proceedings of the Eighth World Conference on AI in Education, 1997, pp.294-302.
- [RIK 2008] Rikure, T., Novickis, L. Psychophysiological Signal Processing for Building a User Model in Adaptive e-Learning Systems. Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Cellular and Molecular Biology, Biophysics and Bioengineering, Spain, Puerto de la Cruz, 2008, pp.122-125.
- [RIK 2009] Rikure, T. Building a Learner Psychophysiological Model Based Adaptive e-Learning System: a General Framework and Its Implementation. Advances in Databases and Information Systems 13th East-European Conference, Latvia, Riga, 2009, pp.185-192.
- [ROC 2004] Rocha, F.E.L., Favero, E.L. CMTTool: a supporting tool for conceptual map analysis. World Congress on Engineering and Technology Education, Santos, Brazil, 2004.

- [ROD 2005] Rodrigues, M., Novais, P., Santos, M.F. Future Challenges in Intelligent Tutoring Systems - A Framework. Recent Research Developments in Learning Technologies: Proceedings of 3rd International Conference on Multimedia and Information & Communication Technologies in Education. Lisbon, Portugal, 2005, pp.129-134.
- [SCH 2000] Schulze, K.G., Shelby, R.N., Treacy, D.J., Wintersgill, M.C., VanLehn, K., Gertner, A. Andes: An Active Learning Intelligent Tutoring System for Newtonian Physics. Themes in Education, Leader Books, Athens, Greece, 2000, Vol.1(2), pp.115-136.
- [SEL 1999] Self, J., The Defining Characteristics of Intelligent Tutoring Systems, Research: ITSs Care, Precisely. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 1999, Vol.10, pp.350-364.
- [SHA 1999] Shaw, E., Johnson, W.L., Ganeshan, R. Pedagogical Agents on the Web. Proceedings of the third annual conference on Autonomous Agents, New York, USA, 1999, pp.283-290.
- [SHU 1996] Shute, V. J. and Psotka, J. Intelligent tutoring systems: past, present and future. In D. Jonassen (Ed.) Handbook of research on educational communications and technology. NY: Macmillan, 1996, pp.570-600.
- [SIS 1998] Sison, R., Shimura, M. Student Modeling and Machine Learning. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 1998.
- [SLE 2002] Sleigh, J. Learning Styles – from Theory to Practice. Training and Development in Australia. Australian Institute of Training and Development, 2002, Vol.29(2), 44p.
- [TIN 2003] Tinkham, A., Kamer, C. Learning Styles and Exploratory Testing. Proceedings of the Pacific Northwest Software Quality Conference, 2003.
- [URB 1996] Urban-Lurain, M. Intelligent Tutoring Systems: An Historic Review in the Context of the Development of Artificial Intelligence and Educational Psychology, 1996.
- [VAN 1988] VanLehn, K. Student modeling. In Polson, M.C., Richardson, J.J. Foundations of Intelligent Tutoring Systems. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, 1988, pp.55-78.
- [VIC 2007] Viccari, R.M., Ovalle, D.A., Jiménez, J.A. ALLEGRO: Teaching/Learning Multi-Agent Environment using Instructional Planning and Cases-Based Reasoning. Clei Electronic Journal , 2007.
- [VIL 2008] Vilkelis, M., Anohina, A., Lukashenko, R. Architecture and Working Principles of the Concept Map Based Knowledge Assessment System. Proceedings of the 3rd International Conference on Virtual Learning, Constanta, Romania, 2008, pp.81-90.
- [WEN 2007] Wen D., Graf S., Lan C.H., Anderson T., Kinshuk C., Dickson K. Adaptive Assessment in Web-Based Learning. Proceedings of the IEEE International Conference Multimedia and Expo 2007, Beijing, 2007, pp.1846-1849.

- [АНО 2011] Анохина-Наумец, А., Лукашенко, Р. Интеллектуальная система оценивания знаний: модель студента и методика экспериментальной проверки алгоритма адаптации. Образовательные технологии и общество, 2011, т.14, н.2, с.346-362.
- [БУЛ 2003] Буль, Е. Обзор моделей студента для компьютерных систем обучения. Журнал „Образовательные технологии и общество”, 2003, т.6, н.4, с.245-250.
- [ДУП 2003] Дуплик, С.В. Подсистема решателя задач в системе компьютерного обучения. Журнал "Открытое образование", 2003, н.5, с.5-10.
- [СИС 2009] Система Дистанционного Обучения. Компьютерные обучающие системы. Интернет http://sdo.uspi.ru/mathem&inform/lek20/lek_20.htm, 2009 (посещён 16.01.2010)
- [СОБ 2002] Собаева, Е.А. Интеллектуальные системы в дистанционном обучении. Интернет <http://sumschool.sumdu.ua/is-02/rus/lectures/sobaeva/sobaeva.html>, 2002 (посещён 16.01.2010)