

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte

Lietišķo datorsistēmu institūts

Jānis Dāboliņš

Doktora studiju programmas “Datorsistēmas” doktorants

**INTELEKTUĀLA MĀCĪBU SISTĒMA
DATORIZĒTĀS PROJEKTĒŠANAS SISTĒMU
LIETOJUMA NOVĒRTĒŠANAI**

Promocijas darba kopsavilkums

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

RTU Izdevniecība
Rīga 2019

Dāboliņš, J. Intelektuāla mācību sistēma datorizētās projektēšanas sistēmu lietojuma novērtēšanai. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2019. 45 lpp.

Iespiests saskaņā ar Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātes Lietišķo datorsistēmu institūta padomes 2019. gada 26. aprīļa lēmumu, protokols Nr. 19-7.



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā “Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”.

ISBN 978-9934-22-338-9 (print)
978-9934-22-339-6 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2019. gada 16. septembrī Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātē, Sētas ielā 1, 202. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. habil. sc. ing.* Jānis Osis,
Rīgas Tehniskā universitāte, Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte, Latvija

Profesore *Dr. habil. sc. ing. Valentina Dagienė*,
Viļņas Universitāte, *Institute of Mathematics and Informatics*, Lietuva

Asoc. profesors *Dr. sc. ing.* Gatis Vītols,
Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Informācijas tehnoloģiju fakultāte, Latvija

APSTIPRINĀJUMS

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

Jānis Dāboliņš (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 54 attēli, sešas tabulas, četri pielikumi, kopā 151 lappuse. Literatūras sarakstā ir 130 nosaukumu.

SATURS

IEVADS	5
1. DATORIZĒTĀS PROJEKTĒŠANAS SISTĒMU LIETOTĀJU APMĀCĪBA	9
1.1. Šobrīd pieejamais mācību procesa nodrošinājums	9
1.2. Šobrīd pieejamais zināšanu vērtēšanas nodrošinājums	11
1.3. Mācību procesa un zināšanu vērtēšanas nodrošinājuma problēmas	11
2. INTELEKTUĀLAS MĀCĪBU SISTĒMAS	13
2.1. Intelektuālu mācību sistēmu uzbūve	14
2.2. Aģentos balstītas intelektuālas mācību sistēmas	16
2.3. Atgriezeniskās saites loma intelektuālās mācību sistēmās	16
3. INTELEKTUĀLA MĀCĪBU SISTĒMA DATORIZĒTĀS PROJEKTĒŠANAS APMĀCĪBAI.....	19
3.1. IMS DPSLN koncepcija	19
3.2. IMS DPSLN darbība.....	28
3.3. IMS DPSLN realizācija	31
4. IZSTRĀDĀTĀS IMS DPSLN APROBĀCIJA	33
4.1. Darbs ar IMS DPSLN	33
4.2. IMS DPSLN aprobācija studentu grupās.....	34
4.3. IMS DPSLN aprobācija uzņēmumos.....	37
SECINĀJUMI UN REZULTĀTI	39
BIBLIOGRĀFIJA	42

IEVADS

Promocijas darbā aprakstīta pieeja, kas ļauj sekot apmācāmā darbībām (un analizēt tās) datorizētās projektēšanas sistēmu (CAD) lietojuma laikā, dots ieskats datorizētās projektēšanas problemātikā, pamatota veikto pētījumu aktualitāte, formulēts darba mērķis un uzdevumi, raksturota darba aprobācija. Darbā aprakstītas un analizētas datorizētās projektēšanas apmācības un tās aspekti. Tajā aprakstīts tradicionāls un tehnoloģijās balstīts mācību process ar mērķi analizēt datorizētās projektēšanas apmācību un zināšanu vērtēšanas nodrošinājumu, identificēt problēmas CAD sistēmu apmācības procesā, secināts, ka tehnoloģijās balstīts mācību process veicinātu šo problēmu risinājumu. Promocijas darbā apskatītas intelektuālas mācību sistēmas, to uzbūve un realizācija, apskatīti intelektuālu mācību sistēmu moduļi ar mērķi izprast intelektuālu mācību sistēmu lietojumu apmācībā. Šāda analīze ļauj izvirzīt prasības intelektuālai mācību sistēmai datorizētās projektēšanas sistēmu apmācībai. Kā galvenā problēma CAD sistēmu lietojuma apmācībā un apmācāmo rezultātu novērtēšanā identificējams informācijas trūkums par apmācāmā darbībām uzdevumu izpildes laikā. Mācībspēks izsniedz uzdevumu, savukārt students to izpilda un iesniedz rezultātu, tāpēc mācībspēks iegūst informāciju tikai par apmācāmā darba rezultātiem, bet ne – par procesu. Viņam ir grūti (pat neiespējami) analizēt veiktā darba efektivitāti – lietoto rīku/funkciju atbilstību darba uzdevumam, procesa secīgumu un lietderīgumu.

Pamatojoties uz veiktajiem pētījumiem, darbā ir piedāvāta datorizētās projektēšanas sistēmu lietojuma novērtēšana. Dots šīs pieejas īstenojums intelektuālā mācību sistēmā, aprakstot to, specificējot sistēmas prasības, arhitektūru, moduļus, datubāzi un realizācijas pieeju. Izveidotā sistēma ļauj risināt projektēšanas sistēmu lietojuma novērtējuma problēmas: eksperts tiek informēts par apmācāmā darbībām uzdevumu izpildes laikā, t. i., par uzdevuma izpildes procesu.

Promocijas darba tēmas aktualitāte

Promocijas darba tēmas aktualitāte ir saistīta ar pārmaiņām izglītības sistēmā – mācīšanas un mācīšanās paradigmā Latvijā un visā Eiropā. Aktualizējot kompetences kā kompleksa ieviešanu apmācību rezultātu sasniegšanai, promocijas darbā izstrādātā pieeja ļauj atšķirt prasmi no kompetences CAD/CAM sistēmu lietojumā. Pašreiz pieejamie līdzekļi ļauj novērtēt apmācāmā prasmes. Šī uzdevuma izpildītais rezultāts parāda, vai apmācāmais ir pratis, lietojot CAD/CAM sistēmas rīkus, veikt uzdoto projektēšanas uzdevumu. Taču projektējumu iespējams novērtēt tikai kā gatavu rezultātu – bez iespējas iedziļināties apmācāmā (vai jau strādājoša projektētāja darba paņēmieni novērtēšanas procesā) veiktajās darbībās, rīcības loģiskumā, secīgumā, raitumā. Līdz ar to vērtējumu par apmācāmā darbībām CAD/CAM sistēmu lietojumā iespējams sniegt tikai par tā prasmēm – projekta izstrādi un/vai etapiem bez iedziļināšanās apmācāmā lietpratības, zināšanu plašuma, izpratnes un pieredzes novērtējumā. Pētījuma mērķis ir izveidot datorsistēmu lietotājam pielāgoties spējīgas apmācību sistēmas izveidei. Izveidotajai datorsistēmai jāļauj novērtēt visus CAD/CAM sistēmās īstenota projekta/rasējuma posmus – tādējādi vērtējot proceduārās zināšanas, tehniskās prasmes un

attieksmi, ar kādu veikts darbs (spēju orientēties sistēmas lietojumā, motivēti izvēlēties efektīvāko izstrādes gaitu).

Promocijas darba mērķis

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt intelektuālu mācību sistēmu (IMS), kas īsteno *CAD/CAM* sistēmu lietojuma novērtēšanu, seko apmācāmā darbībām (un analizē tās) datorizētās projektēšanas sistēmu (*CAD*) lietojuma laikā, kā arī veikt izstrādātās sistēmas prototipa testēšanu un darbības pārbaudi.

Darba uzdevumi

- Apzināt un analizēt *CAD/CAM* sistēmu apmācības procesus, aplūkot to aspektus un zināšanu pārbaudi.
- Izpētīt IMS izstrādes procesu, struktūru un metodes.
- Izanalizēt intelektuālu aģentu sistēmas, izstrādāt jaunas IMS struktūru *CAD/CAM* sistēmu lietojuma novērtēšanai.
- Realizēt IMS prototipu, kas īsteno *CAD/CAM* sistēmu lietošanas procesa novērtējumu.
- Eksperimentāli pārbaudīt izstrādātās IMS prototipu – *CAD/CAM* sistēmu lietojuma novērtējumu, tā atbilstību eksperta (skolotāja) vērtējumam.

Pētījuma objekts un priekšmets

Promocijas darba pētījumu **objekts** ir *CAD/CAM* sistēmu apmācību un lietojuma novērtējums efektīvai darbu izpildei ražošanas vajadzībām. Pētījuma **priekšmets** ir metode, kas ļauj aģentos sākotu intelektuālu mācību un zināšanu vērtēšanas sistēmu adaptīvās īpašības un to realizācijas koncepcijas izmantot *CAD/CAM* sistēmu lietojuma novērtēšanai.

Promocijas darba zinātniskais jauninājums

- Izstrādāta un piedāvāta jauna kompetenču vērtēšanas metode, demonstrējot mākslīgā intelekta metožu pielietojumu reālu praktisku problēmu risinājumā *CAD/CAM* sistēmu lietojuma novērtēšanai.
- Izstrādāta koncepcija aģentos sākotai *CAD/CAM* sistēmu lietojuma novērtēšanas sistēmai ar uzdevuma izpildes gaitas novērtējumu. Izstrādāts algoritms apmācāmā darbību novērtējumam *CAD/CAM* sistēmā. Definēti aģenti IMS realizācijai, identificētas IMS prototipa aģentu funkcijas.
- Aprakstīti *CAD/CAM* sistēmu apmācības procesi un pedagoģiskā pieeja, esošās pieejas un zināšanu pārbaudes nodrošinājums.
- Realizēts IMS prototips *CAD/CAM* lietošanas procesa novērtējumam. Izstrādāti uzdevumu paraugi, tie ģenerēti IMS ar atvērtu iespēju ģenerēt citus, ekspertu piedāvātus, uzdevumus.
- Izstrādāta aprobācija ar atgriezenisko saiti (zināšanu korekciju) un detalizētu informāciju par apmācāmo zināšanām *CAD/CAM* lietojumā.

Pētījuma praktiskā nozīmība

Darbā pirmo reizi realizētā zināšanu identificēšanas un novērtēšanas koncepcija ir praktisks ieguldījums gan mācību procesa, gan ražošanas procesu uzlabošanā. Realizētais prototips ļauj pilnveidot zināšanas darbā ar CAD/CAM sistēmām, konstatēt apmācāmā zināšanu trūkumus, analizēt un pilnveidot darba paņēmienus. Sistēma izmantojama dažādu CAD/CAM sistēmu apguvē un lietošanas procesā.

Tēzes aizstāvēšanai

- Izstrādātā pieeja ļauj sekot apmācāmā darbībām un uzdevuma izpildes procesam CAD/CAM sistēmu lietojuma laikā.
- Izstrādātā sistēma veicina lietotāja zināšanu paaugstināšanu CAD/CAM sistēmu lietojumā – tiek sniegta informācija par esošajām lietotāja kompetencēm un zināšanu līmeni, atgriezeniskā saite veicina interesi par CAD/CAM sistēmu mācīšanos.
- Izstrādātā pieeja veicina lietotāja (apmācāmā) zināšanu CAD/CAM sistēmu lietojuma novērtējuma objektivitāti.

Darba aprobācija

Promocijas darba rezultāti publicēti recenzētos zinātniskos žurnālos, konferenču pilna teksta izdevumos, ziņoti un apspriesti starptautiskās un vietējās konferencēs, kā arī darba autora vadītos vai līdzvadītos studiju priekšmetos.

Darba autora ziņojumi zinātniskās konferencēs

1. 17 th International Conference, “Perspectives in Business Informatics Research” BIR 2018, Stockholm, Sweden, September 24–26, 2018.
2. International scientific conference “SOCIETY. INTEGRATION. EDUCATION”, Rezekne Academy of Technologies, Rezekne, Latvia, May 25th–26th, 2018.
3. Perspectives in Business Informatics Research: 15th International Conference (BIR 2016): Czech Republic, Prague, September 14–16, 2016.
4. 13th International Conference on Global Research and Education Inter Academia 2014, Riga, Latvia, September 10–12, 2014.
5. 54th International science conference at Riga Technical University, Riga, Latvia October 14–16, 2013.
6. Baltic DB & IS 2012 Tenth International Baltic Conference on Databases and Information Systems, Vilnius, Lithuania, July 8–11, 2012.

Darba autora publikācijas par promocijas darba tēmu

1. **Dāboliņš, J.**, Intelligent tutoring system for assessment of usage of computer aided designing systems. **In:** *BIR Short Papers, Workshops and Doctoral Consortium: Joint Proceedings of the BIR 2018 Short Papers, Workshops and Doctoral Consortium co-located with 17th International Conference “Perspectives in Business Informatics*

- Research*” (BIR 2018). *CEUR Workshop Proceedings*. Aachen: RWTH, 2018, pp. 323–334. ISSN 1613-0073. (SCOPUS).
2. **Dāboliņš, J.** Teaching of computer aided designing systems. **In:** *Proceedings of international scientific conference “Society. Integration. Education”*. Volume V. Rezekne: Academy of Technologies, 2018, pp. 248–259. ISSN 1691-5887. Available from: doi:10.17770/sie2018vol1.3143. (SCOPUS).
 3. **Dāboliņš, J., Grundspenķis, J.** Intelligent Knowledge Assessment for CAD/CAM Systems. **In:** Medvids, A., ed. *Advanced Materials Research*. Vol. 1117. 2015, pp. 287–290. ISSN 1662-8985. Available from: doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1117.287. (SCOPUS).
 4. **Dāboliņš, J., Grundspenķis, J.** Intelligent Tutoring System for Learning Graphics in CAD/CAM. **In:** Ēpa V., Bruckner T., eds. *Perspectives in Business Informatics Research. BIR 2016. Lecture Notes in Business Information Processing*. Vol. 261. Springer, Cham, 2016, pp. 239–246. ISBN 978-3-319-45320-0. ISSN 1865-1348. Available from: doi:10.1007/978-3-319-45321-7_17.
 5. **Dāboliņš, J., Grundspenķis, J.** The Role of Feedback in Intelligent Tutoring System. **In:** *Applied Computer Systems/ The Journal of Riga Technical University*. Vol. 14, Issue 1. Germany: Walter de Gruyter GmbH, 2013, pp. 88.–93. ISSN 2255-8691.
 6. **Dāboliņš, J.** Trends of the Usage of Adaptive Learning in Intelligent Tutoring Systems. **In:** *Databases and Information Systems (Baltic DB&IS 2012): Tenth International Baltic Conference: Local Proceedings, Materials of Doctoral Consortium*. Lithuania, Vilnius: 2012, pp. 191–196. ISBN 978-9986-34-274-8. (SCOPUS).

Darba aprobācija studentu apmācībā notikusi šādos mācībuursos:

1. MŠM533 Apģērbu automatizētā projektēšana 4.0 KP (atb. A. Viļumsone) (Profesores A. Viļumsones atsauksme par sistēmas aprobācijas rezultātiem redzama promocijas darba 1. pielikumā);
2. MVR701 Datormācība (spekurss) 2.0 KP (atb. I. Dāboliņa).

Darba aprobācija uzņēmumos

2017. gada 4. jūlijā prezentēju izstrādātās IMS datorizētās projektēšanas sistēmu lietojuma novērtēšanai (DPSLN) prototipu uzņēmumā “*Polytropon Automation Systems*”, uzņēmuma birojā Grieķijā, Salonikos. Uzņēmumā sistēmas ideja un lietotā metode raisīja lielu interesi, kā arī IMS DPSLN tika izmantota divu apģērbu automatizētās projektēšanas uzņēmumu darbinieku zināšanu pārbaudē. Uzņēmuma mārketinga un pārdošanas vadītāja R. Temel slēdziens par sistēmas aprobāciju redzams promocijas darba 2. pielikumā.

1. DATORIZĒTĀS PROJEKTĒŠANAS SISTĒMU LIETOTĀJU APMĀCĪBA

Datorizētā projektēšana līdztekus datorizētajai ražošanai radās 20. gadsimta 50. gados [1]. Plaši pazīstams apzīmējums datorizētās projektēšanas un ražošanas sistēmām ir *CAD/CAM* sistēmas, kas radies no saīsinājumiem angļu valodā – *Computer Aided Designing* un *Computer Aided Manufacturing*. Šobrīd *CAD/CAM* sistēmas tiek izmantotas dažādās jomās, kas ietver projektēšanas un ražošanas vadības procesus (ģeometriskā modelēšana, iekārtu vadība, elastīgas ražošanas sistēmas). Izmantojot specializētas datorprogrammatūras, radītais tehniskais rasējums, specializētu parametru (procedūru apraksta) kopums apraksta datorizēto projektēšanu. Inženierprojektējums, tehniskais zīmējums un rasējums apvieno plašas teorijas un prakses zināšanas. Šādas izstrādes izveide pati par sevi ir ļoti sarežģīts, komplicēts process [2], [3]. Datorizētā projektēšana veicina projektētāja darba ražību, darba apstākļu humanizāciju, projekta kvalitātes paaugstināšanos, komunikācijas ātrumu, elastīgumu, projektēšanas un ražošanas datu repozitorija strukturizēšanu un paplašināšanu. Ja datorizētās projektēšanas rezultātu (*CAD* sistēmā radītu projektu) nepastarpināti (bez rasējuma vai projektējuma izdrukāšanas) nodod produkta ražošanai (piegriešanai, mehāniskajai apstrādei), to sauc par datorizēto ražošanu (*CAM* sistēmu nodrošinājums).

Datorizētā projektēšana nevar eksistēt bez specializētajām (komerciālām) *CAD* sistēmām – tās radītas projektēšanas procesu automatizācijai [4]. *CAD* sistēmās visbiežāk lietota vektoru grafika (objekti aprakstīti matemātiski), kas balstīta Dekarta koordinātās, taču mēdz būt sistēmas, kurās objektu attēlošanai lieto rastra grafiku (objekti tiek balstīti sakārtotu punktu kopās) [5]. Projektēšana var notikt plaknē (nogriežņu, līkņu un figūru rasēšanai) vai telpiski (3D līkņu, virsmu un ķermeņu attēlošanai). Ražošanas vadības procesu nodrošināšanai līdztekus produktu grafiskai informācijai vairumā *CAD* sistēmu iespējama informācijas (materiāli, procesi, izmēri, apjomi, kontrolmēri u. c.) pārvaldīšana, strukturēšana un uzglabāšana [6], [7].

Globālās ekonomikas attīstības iespaidā *CAD/CAM* integrācija notiek dažādās ražošanas sfērās (būvniecība, aviācija, kuģu būve, datoru ražošana, apģērbu ražošana u. c.), dažādos ražošanas posmos (projektēšana, produkta dzīves cikla vadība, ražošanas sistēmu vadība u. c.). Lai apmierinātu nepieciešamību pēc kvalificēta darba spēka, *CAD/CAM* sistēmu apguve tiek iekļauta dažādu jomu inženierstudiju plānos (līdztekus šai tendencei pamazām samazinās klasiskās rasēšanas iemaņu apguve).

Promocijas darba izstrādes laikā analizētie literatūras avoti ļauj secināt, ka datorizētās projektēšanas apguvei tiek piedāvāta gan skolotāja vadīta, gan patstāvīga apmācāmā mācību darbība, tiek nodrošināts tradicionāls mācību process, bet tehnoloģijās balstīts mācību process nodrošināts ļoti ierobežoti.

1.1. Šobrīd pieejamais mācību procesa nodrošinājums

Mācību saturs un tā atspoguļojums tieši izriet no mācību mērķa – datorizētās projektēšanas apmācība, kuras praktisko uzdevumu izpildei tiek piesaistīta kāda no *CAD*

sistēmām (atkarībā no mācību satura jomas un mācību programmas, kurā iekļauta konkrētās sistēmas apguve). Šādai specializētai apmācībai tradicionālās apmācības forma tiek pielāgota ar tehnoloģijās balstītiem mācību līdzekļiem. Grāmatas un lekciju konspekti tiek izdoti ierobežoti nemitīgās sistēmu attīstības dēļ (*CAD/CAM* sistēmu izstrādātāji vismaz reizi gadā izstrādā un piedāvā tirgū jaunas, uzlabotas sistēmas versijas tās ātrdarbības, projektēšanas rīku lietojuma ērtuma un atbilstības jomai nodrošināšanai). Ja grāmatas tiek izdotas, tad visbiežāk universālāko (mazāk specializēto) sistēmu apmācībai, piemēram, sistēmas *AutoCAD* apguvei ir izdotas grāmatas arī latviešu valodā [8], tomēr biežāk izdevumi ir krievu [9], [10] vai angļu valodā [11], [12] – abu valodu lietojums saprotams plašākai auditorijai. *CAD* sistēmu aprakstam, ko lieto konkrētas nozares projektēšanas darbiem, grāmatas neizdod vispār vai tas notiek ļoti reti, piemēram, sistēmas *Lectra* apguvei izdotas vien pāris grāmatas [13], [14], to autore nav saistīta ar sistēmas *Lectra* pārstāvniecību, vien izklāsta darbības principus konkrēta sistēmas moduļa (pat ne visas sistēmas) lietojumam. Ļoti līdzīga situācija ir citu specializēto sistēmu mācību materiālu izdošanā, piemēram, arī sistēmas *Gerber Accumark* [15] apguvei. Diemžēl šādas grāmatas ir aktuālas ļoti neilgi, tās ātri zaudē nozīmi izmantošanai apmācību procesā *CAD/CAM* sistēmu straujās attīstības un izmaiņu dēļ [3]. Izdoto grāmatu klāsts ir ierobežots, tāpēc mācību satura izklāsta nodrošinājums visbiežāk atkarīgs no mācībbspēka – katru gadu atbilstoši izmaiņām specializētajās *CAD* sistēmās viņš veic izmaiņas prezentācijās, lekciju materiālos un piezīmēs.

Lai arī datorizētās projektēšanas sistēmu apmācība visbiežāk notiek atbilstoši tradicionālajam mācību procesam, kurā skolotājs sniedz zināšanas lekciju un paraugdemonstrējumu veidā, apmācāmais uztver jauno informāciju, notiek tās apjēgšana un zināšanu nostiprināšana, izpildot praktiskos uzdevumus, tomēr, ņemot vērā, ka tiek mācītas *CAD/CAM* sistēmas, kas balstās informācijas tehnoloģijās, tad vairumam sistēmu ir integrēti ar tehnoloģijās balstīti mācību līdzekļi. Tiešsaistes palīdzība ir sistēmas daļa, kas ļauj apmācāmajam iegūt informāciju par sistēmas darbību kopumā vai kādas konkrētas funkcijas vai rīka lietojumu projektēšanai (sistēmās mēdz būt integrēta gan palīdzība, kurā lietotājs meklē informāciju, gan palīdzība, kas iegūstama pēc pieprasījuma par konkrēto, tajā laika momentā aktīvo funkciju/rīku). Šāda palīdzība, saprātīgi lietota, ļauj izvēlēties atbilstošu darbību algoritmu sava uzdevuma risināšanai.

Progresīvāko *CAD/CAM* sistēmu ražotāji izveido speciālas mājaslapas, interneta vietnes, atvērtas vai daļēji slēgtas pieejas mācību materiālus un citus resursus savas projektēšanas sistēmas apguvei. Piemēram, *AutoCAD* apguvei tiek piedāvāts interaktīvs rīks funkciju lietojuma aprakstam, tajā piedāvāti piemēri un lietojuma iespējas [16], kā arī ir iespējams lejupielādēt specializētas nodarbības sistēmas apguvei (par atsevišķu samaksu) [17]. Savukārt *CAD/CAM* sistēmas *Lectra* ražotāji attīsta skolu un universitāšu programmu, atbalsta mācību materiālu izstrādi, savā mājaslapā informē par labāko studentu sasniegumiem projektēšanas jomā, publicē labākos projektus [18]. Šīs sistēmas apguvei pieejams arī ierobežotas pieejas skolotāju atbalsta materiāli (pieejami tikai sertificētiem sistēmas pasniedzējiem), kas skolotājam piedāvā ieteicamos mācību plānus, mācību saturu: uzdevumus, lekālu paraugus, algoritmu kartes, procedūru aprakstus, tādējādi atvieglojot skolotāja darbu.

1.2. Šobrīd pieejamais zināšanu vērtēšanas nodrošinājums

Darbā ar datorizētās projektēšanas sistēmām vērtējums ir skolotāja atzinums par izveidotā projektējuma un/vai rasējuma atbilstību vai neatbilstību noteiktām prasībām, tādējādi vērtējot apmācāmā zināšanu, prasmju un iemaņu apguves līmeni. Šis aspekts veido daļu no mācību motivācijas apmācāmajam. Otru daļu veido motivācija attīstīt savu projektējumu un/vai veidot sarežģītākus projektus [3].

Datorizētā projektēšana saistāma ar kādas praktiskas izstrādes izgatavošanu, tāpēc daļa projektu tiek automatizēti pašvērtēti jau pašam apmācāmajam saprotot, vai izveidotais projekts ir lietojams nākamajā projektēšanas posmā. Ja secīgi neizdodas veikt nākamās darbības, tad ir skaidrs, ka pirmajā posmā ir pieļautas kļūdas, kas projekta virzībai neļauj notikt tālāk.

Skolotājs kursa apguves pārbaudei sagatavo atbilstošus praktiskus uzdevumus un testus. Jau kursa ietvaros pamatprasmes var tikt vērtētas ar konkrētiem, maziem piemēriem, kuru izpilde eksāmenā vairs netiek vērtēta (rezultāts tiek ņemts vērā pie kopējā priekšmeta vērtējuma semestrī). Studentam jāspēj pabeigt katru no šiem uzdevumiem ļoti īsā laikā (dažas minūtēs), izmantojot tikai dažas darbības un datorizētās sistēmas rīkus. Tādējādi var pārbaudīt tieši tās spējas un iemaņas, kas ir apgūtas konkrētā mācību posmā. Šo piemēru vērtējums notiek tūlīt – skolotājs uzdod uzdevumu, apmācāmie to sagatavo, skolotājs novērtē padarīto (atgriezeniskā saite).

Gala pārbaudījumos un/vai kursa darbos tiek pārbaudītas prasmes un iemaņas ar sarežģītākiem uzdevumiem un projektējumiem – sagatavojot datorizētās projektēšanas uzdevumu, kas ļauj apmācāmajam parādīt visas spējas ne tikai izpildīt iemācītās projektēšanas procedūras, bet arī tās radoši izmantot citu uzdevumu izpildē. Šādam uzdevumam ir jābūt dažādiem iespējamiem risinājumiem. Tādējādi var novērtēt apmācāmā prasmes sistēmā un spēju veikt piemērotākā risinājuma atrašanu. Turklāt precizitāte un tehnisko prasību ievērošana ietekmē galīgo vērtējumu.

1.3. Mācību procesa un zināšanu vērtēšanas nodrošinājuma problēmas

Skolotājs datorizētās projektēšanas apmācību laikā dod ieskatu projektēšanas procesā, sniedz zināšanas par CAD sistēmas rīku lietojumu un demonstrē, kādi darbību algoritmi veicami datorizētās projektēšanas uzdevumu izpildei. Nereti šādi demonstrējumi tiek atkārtoti: apmācāmais savu darbu ir izpildījis, taču tas ir noticis, atkārtojot skolotāja rādīto, līdz ar to procedūru apguve notikusi zemā līmenī. Šī problēma iezīmē nepieciešamību pēc nelieliem paraugdemonstrējumiem – secīgas uzdevuma izpildes ar instrukcijām un attēliem no CAD sistēmas, parādot objekta modelēšanas un konstruēšanas procesu. Tādējādi apmācāmie var kontrolēt sava mācību progresa ātrumu, kā arī skolotājs var piedāvāt citus, līdzīgus uzdevumus izpildei, pārliecinoties, ka ir saprastas konkrētā uzdevuma izpildes procedūras un darbību algoritmi. Daži CAD/CAM sistēmu uzņēmumi piedāvā īsfilmas (piemēram, [18]–[20], lai demonstrētu sarežģītāku programmatūras rīku izmantošanu vai nelielu projektu izveidi.

Līdztekus darba iemaņām (sistēmas lietojuma prasmēm), strādājot ar grafisku datņu izveidi, svarīga ir grafiskā rezultāta precizitāte un izveides ātrums. Grafisko uzdevumu veikšanai *CAD/CAM* vidē ir sava noteikta secība/kārtība, taču veikto uzdevumu kvalitāti (precizitāti, ātrumu) tieši iespaido rasētāja zināšanas un prasmes sistēmas lietošanā. Šādu projektējumu pārbaude ietver gala rezultāta un dokumentācijas novērtējumu, taču zināšanu pārbaudei darbā ar *CAD/CAM* sistēmām nav izstrādāta vienota pieeja, nav iespējams pārbaudīt darba secību, tā gaitu, veiktās procedūras un darba izstrādes procesu. *CAD/CAM* sistēmu lietojuma novērtēšanai mēdz būt izstrādāti tipveida uzdevumi, kas tiek lietoti studenta sākotnējo zināšanu (tādas, kas iegūtas apmācības sākumposmā) novērtēšanai. Šo uzdevumu izpildei nepieciešamo *CAD/CAM* sistēmu funkciju skaits ir neliels (parasti nepārsniedz 10), to izpildes novērtējums tradicionāli balstās izveidotā rasējuma atbilstībā uzdotajam [9], [13], [21].

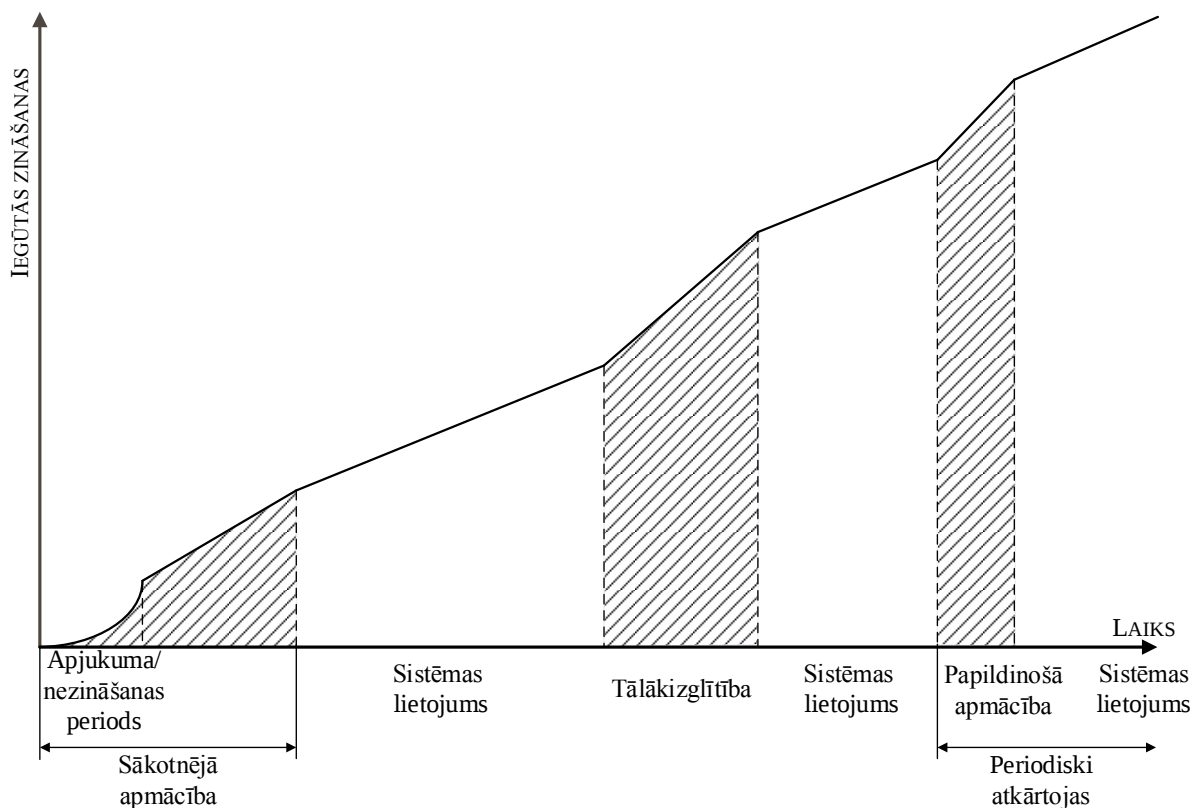
2. INTELEKTUĀLAS MĀCĪBU SISTĒMAS

Pirmajā nodaļā salīdzināts tradicionālais mācību process un tehnoloģijās balstīts mācību process ar mērķi noteikt *CAD/CAM* sistēmu lietojuma novērtēšanai piemērotāko. Secināts, ka datorizētās projektēšanas apmācību procesa uzlabošana var notikt ar intelektuālas mācību sistēmas (IMS) palīdzību. Galvenais IMS mērķis ir sniegt mācīšanās norādījumus, pielāgojot mācību procesu katra konkrētā apmācāmā zināšanu un prasmju līmenim [22]. Ja tradicionālajā mācību procesā iesaistīts skolotājs, tad tehnoloģijām balstītajā to pilnībā vai daļēji aizvieto IMS. Mācību saturs ir komponente, ko veido eksperts vai ekspertu grupa – tas var būt gan skolotājs, gan neatkarīgi eksperti, kas izstrādā mācību saturu. Eksperts sadarbojas ar mācību saturu, to papildina – dod informāciju. Ja tiek īstenots mācību process, kas tiek pilnībā nodrošināts ar intelektuālu mācību sistēmu, tad eksperts ir vienīgais, kurš veic mācību satura izveidi.

IMS sadarbojas ar mācību satura komponenti, saņemot mācību materiālus, pārbaudes darbus un papildliteratūru. Pēc sadarbības ar apmācāmo IMS dod informāciju mācību satura uzlabošanai atbilstoši apmācāmā darbībām, veiksmi un grūtībām mācību procesā.

Zināšanas datorizētās projektēšanas sistēmu lietošanai tiek iegūtas, sākot ar sākotnējo apmācību, kad skolotāja sniegtās zināšanas tiek pārņemtas un lietotas datorsistēmā. Lietojuma apguve soli pa solim ir ierastākais datorizētās projektēšanas sistēmu apguves veids – skolotājs rāda, kā ir iespējams veikt katru darbību, apmācāmais to atkārto savā darbstacijā. Dažkārt (ļoti reti) apguve notiek attālināti – ar lietotāja ceļveža vai videopamācību palīdzību. Nozīmīgs apguves solis ir atgriezeniskā saite – ja apmācāmais nav izpratis darbības un nespēj veikt nodarbības uzdevumu, skolotājs atbild uz jautājumiem, individuāli parāda, kādas darbības veicamas, lai turpinātu un/vai labotu uzdevuma izpildi. Pieredze darbā *CAD/CAM* sistēmu apmācībā rāda, ka vairumā gadījumu apmācības sākuma posmā iegūto zināšanu kāpums ir ļoti niecīgs – apmācāmais neizprot datorizētās projektēšanas būtību, ir apmulsis par sistēmas rīku/funkciju lietojumu un nespēj veikt nodarbības uzdevumus. Tādēļ pirms nopietnu projektu izstrādes apmācāmajam tiek piedāvāti vienkārši uzdevumi grafisko pamatvienumu apguvei – līniju zīmēšanai, četrstūru, aplū un citu ģeometrisku figūru parametriskai vai neparametriskai attēlošanai. Kad apmācāmais ir apguvis sistēmas lietojuma principus, var notikt tālāka apmācība, kad zināšanu kāpums ir ļoti straujš (lineārs, kur līnijas grafika slīpuma koeficients ir atkarīgs no apmācāmā spējām, apmācībās pavadītā laika un tā izmantošanas kvalitātes). Pēc sākotnējās apmācības seko sistēmas lietojums, kura laikā zināšanas tiek nostiprinātas un, veicot reālus projektēšanas uzdevumus (kuros nepieciešams lietot arī zināšanas par projektējamo objektu, aptvert nepieciešamās rasējuma daļas – bāzes tīklu, gabarītlīnijas, rasējuma līnijas, palīglīnijas un citus nepieciešamos projekta atribūtus), tiek papildinātas, praktiski lietojot datorizētās projektēšanas sistēmu (posms var būt integrēts gan apmācības procesā, kur apmācāmais izpilda studiju noslēguma darbus vai specializētu mācību kursu studiju projektu, gan arī nozares prakses uzdevumu izpildē – studiju ietvaros vai darba vietā). Šajā posmā jaunu zināšanu ieguve nenotiek strauji. Nākamais zināšanu ieguves posms ir tālākā izglītība (vai tālākizglītība) – ja projektētājam ir interese par sistēmas padziļinātu apguvi, ir iespēja to apgūt lietpratēja līmenī tālākizglītībasursos vai augstākos studiju

līmeņos. Šajā posmā notiek arī ekspertu apmācība, kuru darba paņēmienus *CAD/CAM* sistēmā nepieciešams uzlabot. Turpmākie apmācību posmi atkarīgi no konkrētās *CAD/CAM* sistēmas – atjauninājumu biežuma un to sarežģītības – šie posmi atkārtojas periodiski.



2.1. att. *CAD/CAM* sistēmu apguves posmi.

Visi apmācības posmi, kas identificēti empīriskā ceļā (promocijas darba autoram ir vairāk nekā 15 gadu pieredze *CAD/CAM* sistēmu apmācībā), grafiski attēloti 2.1. attēlā.

CAD/CAM sistēmu apguves posmi, kuros piedalās skolotājs, iekrāsoti, lai izceltu posmus, kuros zināšanu ieguvei nepieciešama apmācāmo darbību novērtēšana. Tādēļ nepieciešama IMS apmācāmo darbību sekošanai, analīzei un novērtējumam, ņemot vērā jau iepriekš secināto procesa trūkumu – netiek nodrošināta procesa analīze, kas ļautu kāpināt zināšanu ieguves ātrumu.

2.1. Intelektuālu mācību sistēmu uzbūve

IMS uzbūve balstās tradicionālā mācību procesa nodrošinājuma pamatkomponentēs: skolotājs, apmācāmais un mācību saturs. Šīs komponentes nosaka IMS arhitektūras pamatsastāvdaļas – moduļus. Moduļi ir savstarpēji saistīti, to skaits var būt papildināts atkarībā no sistēmas mērķa un uzdevumiem, problēmsfēras un citiem aspektiem. Sistēmu veido eksperta modulis, studenta (apmācāmā) modulis, apmācības (mācību satura) modulis un lietotāja saskarne. Katrā sistēmas komponentē (modulī) nodrošināmas atsevišķas funkcijas.

Balstoties šajos moduļos, intelektuāla mācību sistēma seko apmācību procesam, spriež par apmācāmā darbībām un zināšanām, to izmaiņām, veic mācību satura adaptāciju apmācāmā individuālajām vajadzībām bez skolotāja iejaukšanās, līdz ar to pilnībā vai daļēji aizstājot cilvēku – skolotāju – mācību procesā.

Skolotāja prasmes un zināšanas tiek integrētas datorsistēmā ar dažādu mācību materiālu, uzdevumu (izpildei), uzdevumu veikšanas secību (paraugu) palīdzību. IMS eksperta modulis līdztekus zināšanu krātuvei tiek papildināts ar skolotāja/experta mācīšanas veidu/metodēm un reakcijas izpausmēm. Šī moduļa saturs tiek veidots no mācību līdzekļiem, kas sagatavoti apmācībām sistēmā. Katrs materiāls var tikt iedalīts vairākās daļās atkarībā no tā mērķa un lietojuma: tēmas ietvars, mācību materiāls, uzdevumu varianti, pārbaudes darbi. Mācību saturs tiek integrēts sistēmā atbilstoši tās darbības tehniskajam nodrošinājumam. Saturu var izveidot viens vai vairāki autori.

Studenta modulis tiek veidots tā, lai tajā uzkrātu informāciju par studentu: viņa personas datus, apgūstamo mācību vielu, apgūto (aplūkoto mācību vielu, izpildītos uzdevumus), lai uzkrātu informāciju par apmācāmā mācīšanās pieeju (stilu) un novērtētu viņa mācību progresu. Uzkrātā informācija ļauj izsekot apmācāmā mācību procesam, iegūt informāciju par sistēmā pavadīto laiku, izpildīto uzdevumu sekmību. Students saņem mācību materiālu, kas atkarībā no IMS integrētās pieejas tiek pielāgots studenta zināšanu līmenim un spējām. Students var izvēlēties cita līmeņa mācību materiālu vai uzdevumu. Visa informācija tiek uzkrāta IMS studenta modulī, lai analizētu studenta darbības un pielāgotu apmācību materiālu studenta vajadzībām.

IMS apmācības modulis bez cilvēka – skolotāja – līdzdalības nodrošina apmācības procesu – nosaka tā dēvēto virtuālo skolotāju darbības, kas apmācāmajam piemērotā veidā un atbilstošā secībā veic mācību materiāla atspoguļošanu. Virtuālā skolotāja darbības nosaka noteikumu kopums (apmācības stratēģija un tās realizācijai nepieciešamās instrukcijas), ko izstrādājis mācīšanās eksperts. Katrs noteikums sastāv no pieņēmumiem un secinājumiem. Noteikumu pieņēmums ir studenta zināšanas, darbības un cita informācija, ko uzkrājis studenta modulis, savukārt secinājums ir atbildes reakcija, kādu sistēma veic atbilstoši noteikumiem.

Atsevišķi raksturojama apmācāmā reģistrācija un identifikācija sistēmā, kas neiekļaujas nevienā no sistēmas pamatmoduļiem un tiek īstenota caur lietotāja saskarni. Šai funkcijai jānodrošina jauna modeļa izveide studenta modulī, ja apmācāmais reģistrējas pirmo reizi vai notiek esoša studenta modeļa aktivizācija pēc pieprasījuma (identifikācijas informācijas ievade).

Lielākā daļa minēto IMS funkciju raksturo sistēmas spēju adaptēties apmācāmajam. Lai šādu adaptāciju realizētu, nepieciešams panākt mākslīgā intelekta sistēmas un mācību vides sadarbību. Likumi, pēc kuriem šo sadarbību organizēt, nav skaidri definējami, jo nav paredzami visi gadījumi, kādus reālas personas (apmācāmie) var pieredzēt, sadarbojoties ar sistēmu. Sistēmas spēja apmācīties ir realizējama ar aģentu palīdzību – tādas aģentu īpašības kā spēja reaģēt uz darbībām, spēja spriest, plānot, apmācīties un pieņemt lēmumus, kā arī daudzāģentu sistēmu atvērtība, ir nozīmīgas aģentu tehnoloģijas priekšrocības IMS izstrādē [23].

2.2. Aģentos balstītas intelektuālas mācību sistēmas

Aģents ir patstāvīga programmatūras vienība, kas eksistē kādā vidē un spēj izpildīt dažādas darbības, cenšoties īstenot definētos mērķus [24]–[27]. Intelektuālais aģents ir aģents, kam piemīt apmācības spējas – tas spēj ar sensoru palīdzību iegūt informāciju un apstrādāt to, apgūt jaunas zināšanas un lietot tās ar efektoru palīdzību. Intelektuālu mācību sistēmu realizācijai izmanto aģentus, kas spēj sadarboties – sistēmā integrēto aģentu kopīgais mērķis ir apmācību procesa realizēšana un mācību rezultātu sekmēšana un diagnosticēšana. Sistēmas uzbūvē tiek nodrošināti sadarbības un saziņas protokoli (ziņojumu fiziskai nosūtīšanai un ziņojuma sintakses specifikēšanai) aģentu spējai apmainīties ar ziņojumiem.

Aģents vidē ģenerē darbību secību atbilstoši tai uztverei, ko tas gūst no vides. Šīs darbības izraisa izmaiņas vidē, kas tādējādi nonāk dažādos stāvokļos. Ja darbību secība ir izpildīta atbilstoši sagaidāmajam – tā, lai vide ir izmainīta tā, kā paredzēts sistēmā, tad aģents savu darbu veicis labi. Šis vēlamības jēdziens tiek atspoguļots, novērtējot jebkuru noteiktu vides stāvokļu secību [28]. Vides, kādās aģentiem var nākties darboties, ir ļoti daudzveidīgas. To skaits no sistēmu projektētāju ideju realizācijas viedokļa ir praktiski neierobežots. Atkarībā no sistēmas uzdevuma un realizācijas veida, var definēt dažādus parametrus, kas raksturo vides realizāciju [28]: novērojamība, noteiktība, nepārtrauktība, secīgums, stratēģiskums. Izzinot aģentu lomu intelektuālā sistēmā, tiek definētas [23], [28], [29] intelektuālu aģentu svarīgākās (IMS aspektā) īpašības: aktivitāte, proaktivitāte un komunikācijas spēja. IMS realizācijā var tikt izmantoti vairāki aģentu tipi: vienkāršs refleksu aģents, uz modeļa balstīts refleksu aģents, uz mērķi balstīts aģents, uz lietderību balstīts aģents.

Aģentu sistēmas var būt viena aģenta sistēma vai daudzāģentu sistēma. Ja aģents sistēmā darbojas viens pats (risina kādu noteiktu problēmu), tad šāda sistēma, acīmredzami, uzskatāma par vienaģenta sistēmu. Tiklīdz sistēmā integrēti vismaz divi aģenti, tā sistēma uzskatāma par daudzāģentu sistēmu. Ja aģenti savā starpā sacenšas, lai iegūtu vēlamo rezultātu – vides izmaiņas (piemēram, šaha spēle), to sauc par konkurējošu aģentu sistēmu.

Katrs iepriekš raksturotais IMS modulis var tikt realizēts kā viena vai vairāku aģentu sistēma. Tādēļ katrā no moduļiem var definēt dažādus aģentus [23], [29], [30]. Promocijas darba IMS realizēšanai izmantotie aģenti aprakstīti darba 3.1.2. nodaļā (kopsavilkuma 3.1. nodaļā).

2.3. Atgriezeniskās saites loma intelektuālās mācību sistēmās

Atgriezeniskā saite uzskatāma par apmācāmā motivācijas veicinātāju [22], [31]–[34], tāpēc tās īstenošanai tiek veidots viens vai vairāki aģenti, kas atbild par atgriezeniskās saites īstenošanu un tiek integrēti apmācības modulī un lietotāja saskarnē. IMS izveidē nepieciešams ņemt vērā gan cilvēku vajadzības un prasības, gan arī informācijas tehnoloģiju iespējas [35]–[38]. No didaktisko līdzekļu lietojuma (mācību teorijas, mācību satura plāna, mācīšanas metodēm un organizatoriskās formas) atkarīgs atgriezeniskās saites veids un attēlojums IMS. Lai īstenotu iedarbīgu atgriezenisko saiti, nepieciešams aptvert apmācāmā reakcijas uz mācību materiālu un analizēt mācību rezultātu veicināšanas iespējas. Turklāt IMS

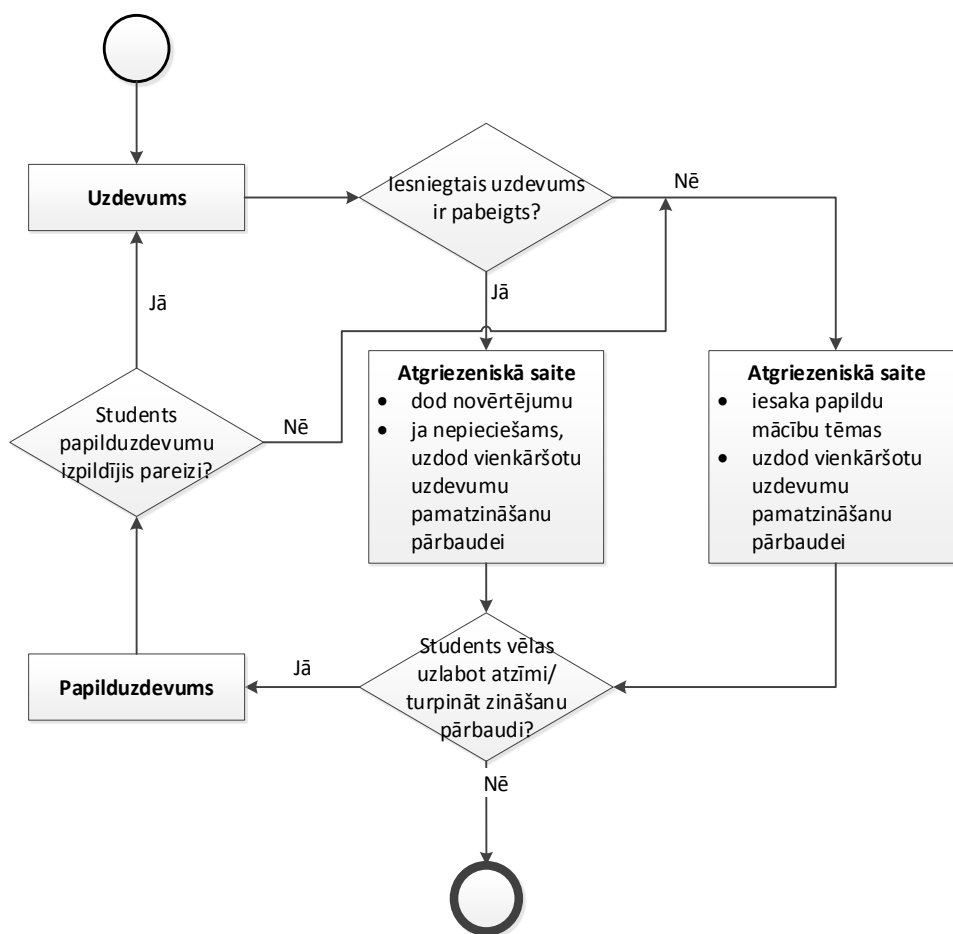
pielāgošanās spēja (viena no atgriezeniskās saites lomām) nozīmē ņemt vērā apmācāmā zināšanas par mācību vielu, intereses un mācīšanās stilus [33], [37], [39].

Atgriezeniskās saites īstenošana IMS notiek tūlītēji (nekavējoši) – soli pa solim [29], [32]. Tas nozīmē atbildes sniegšanu pēc katra apmācāmā paveiktā soļa. Šādā procesā atgriezeniskās saites aģents visu laiku uzkrāj informāciju par apmācāmā darbībām. IMS ir iespējams un lietderīgi realizēt tikai negatīvu atgriezenisko saiti. Kā jebkura negatīva atgriezeniskā saite, arī tā, ko realizē IMS, nepieciešama, lai samazinātu starpību starp mērķi (standartu, pareizu uzdevuma izpildes gaitu un/vai rezultātu) un faktisko rezultātu (apmācāmā veikums).

Darba autora prakse un pieredze rāda, ka pārbaudes uzdevumos atgriezeniskā saite tās klasiskajā (soli pa solim) izpratnē var būt traucēklis korektai uzdevuma pārbaudei. Tādēļ sistēmā, kurā zināšanas tiek pārbaudītas (ar mērķi noskaidrot apmācāmā kompetenci nevis papildināt viņa zināšanas), informācija sniedzama pēc uzdevuma izpildes. Šāda informācija nav uzskatāma par atgriezenisko saiti kibernetikas izpratnē, bet gan par pārbaudes darba rezultējošos (izejas) informāciju, kas var tikt izmantota kā ieejas informācija citām aktivitātēm IMS (un tādējādi nosacīti uzskatāma par atgriezenisko saiti).

Šobrīd esošajā datorizētās projektēšanas sistēmu apmācības procesā vienīgā īstenotā atgriezeniskā saite ir skolotāja reakcija uz apmācāmā darbībām un/vai bezdarbību, kā arī izpildīto uzdevumu. Kā jau iepriekš secināts, šis ir trūkums visā procesā divu aspektu dēļ. Pirmkārt, skolotājam pietrūkst informācijas par apmācāmā darbībām, līdz ar to nepieciešamo papildinformāciju, lai apmācāmais sekmīgāk apgūtu CAD/CAM sistēmu lietojumu. Otrkārt, apmācāmais netiek informēts par to, kur tas pieļāvis kļūdas un nepilnības uzdevuma izpildē – tādējādi netiek nodrošināta motivācija darbības pilnveidošanai. Līdz ar to IMS izveide apmācāmā darbību un zināšanu novērtējumam ļautu sekmīgi īstenot atgriezenisko saiti CAD sistēmu apmācībai un zināšanu pārbaudes īstenošanai. IMS integrētie līdzekļi ļautu konstatēt ne tikai izpildītā uzdevuma/projekta rezultāta atbilstību tā mērķim, bet arī aptvert procesu, kādā apmācāmais veicis darbu, apmācāmā reakcijas ātrumu uz izpildes soļiem, aizķeršanās, konstatēt trūkumus ne tikai atsevišķu datorizētās projektēšanas sistēmas rīku/funkciju lietojumā, bet arī zināšanas par projektēšanas darbu secību/procedūrām.

Analizējot atgriezeniskās saites veidus, var secināt, ka datorizētās projektēšanas sistēmas lietotāju zināšanu novērtējumam piemērotākā atgriezeniskā saite ir pēc uzdevuma izpildes (2.2. att.) – tā neiejaucas darba procesā (līdzīgi kā līdzšinējā apmācībā) un ļauj novērtēt arī darba izpildes laiku un katrai darbībai patērēto laiku (ekspertam sniegtā informācija). Tas savukārt ļauj salīdzināt divu darbinieku/apmācāmo zināšanu un darbību efektivitāti. Savukārt studentu pamatzināšanu pārbaudei mācību procesa nodrošinājumam IMS lietderīgi paredzēt atgriezenisko saiti arī uzdevuma izpildes laikā (padomu un mājien formā), ja aģents, kas seko apmācāmā darbībām, konstatē ietilgušas pauzes uzdevuma izpildē, tas var nodot informāciju saskarnes aģentam par nepieciešamo palīdzību. Tomēr šāda palīdzība nedrīkst būt sasteigta, lai uzdevuma izpilde neklūtu pārāk vienkārša un apmācāmais nezaudētu interesi par apmācību procesu vispār.



2.2. att. Zināšanu pārbaudes aktivitāšu diagramma.

Literatūras avotu analīze parāda, ka mācību sistēmu (un arī intelektuālu mācību sistēmu) gadījumā praktiski visi pētnieki lieto terminu “atgriezeniskā saite” ar nozīmi, kas atšķiras no kibernetikā lietotās nozīmes. Šajā promocijas darbā lietota šāda terminoloģija: ar informatīvu atgriezenisko saiti apzīmēta jebkura informācija, ko sniedz skolotājs vai IMS (vai uzdevuma izpildes laikā vai pēc tā izpildes), kurā nav norādes lietotāja zināšanu pilnveidei. Piemēram, nav norādes uz apguvei ieteicamo papildliteratūru un/vai mācību materiāliem, nav arī ieteikti papilduzdevumi, kas jāatrisina. Ar korigējošo atgriezenisko saiti šajā promocijas darbā saprot informāciju, ko apmācāmais saņem uzdevuma risināšanas laikā un/vai pēc tā pabeigšanas. Informācija satur gan paveiktā novērtējumu, gan ieteikumus, kā uzlabot rezultātu, apgūstot papildu mācību vielu un izpildot uzdevumus. Jāatzīmē, ka vietās, kur tas nerada pārpratumus, promocijas darbā šo divu terminu vietā, lietots termins “atgriezeniskā saite”.

3. INTELEKTUĀLA MĀCĪBU SISTĒMA DATORIZĒTĀS PROJEKTĒŠANAS APMĀCĪBAI

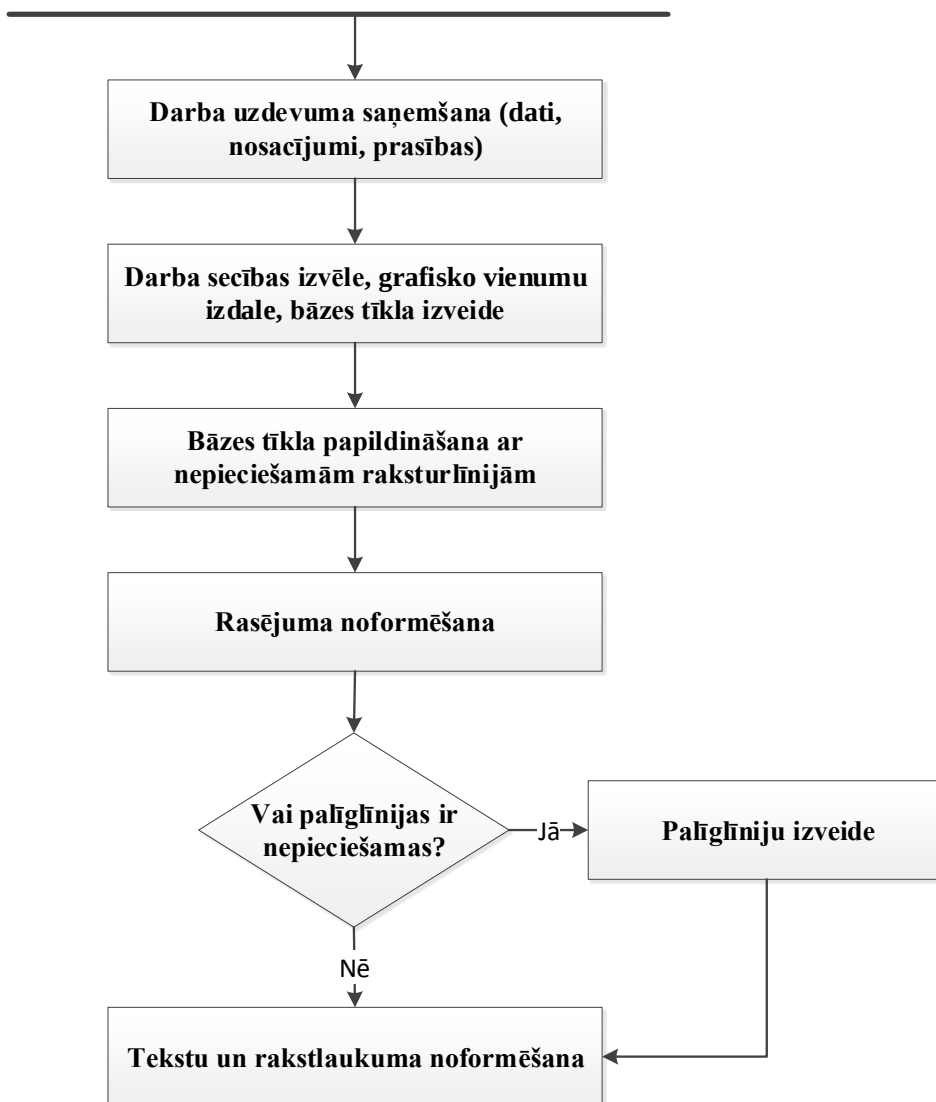
Lai izvēlētos IMS izveides platformu, lietderīgi zināt, ka šobrīd tirgū pieejamās *CAD/CAM* sistēmas ir bāzētas *MS Windows* platformā. Nozares eksperti [40], [41], analizējot situāciju, secina, ka arī tās sistēmas, kas datorizētās projektēšanas attīstības pirmsākumos tika būvētas uz citām platformām, mūsdienās tiek būvētas tikai *MS Windows* videi. Tas skaidrojams ar nepieciešamību migrēt datus starp sistēmām un sadarbības uzņēmumiem – datu saderības nodrošināšana starp datorprojektēšanas sistēmām jau pats par sevi ir sarežģīts uzdevums (vairums sistēmu saglabā datus līdzīgos formātos; tiek vienlaicīgi izmantotas reģistru bibliotēkas; turklāt biznesa konkurences dēļ saglabātie formāti pat, ja tie ir ar vienādu paplašinājumu, nav saderīgi dažādās *CAD/CAM* sistēmās). Minēto iemeslu dēļ *CAD/CAM* sistēmu darbība tiek nodrošināta tikai *Windows* platformā. Tādēļ arī IMS datorizētās projektēšanas sistēmu lietojuma novērtēšanai (DPSLN) projektējama *Windows* platformai.

3.1. IMS DPSLN koncepcija

Kā jau minēts promocijas darba pirmajā nodaļā, šobrīd nav iespējams novērtēt darbinieka prasmes (iepriekš minēto faktoru ievērošanu), jo vērtētajam ir pieejams tikai gala rezultāts. Tādēļ ir iespējams novērtēt tikai darba uzdevuma izpildes rezultātu, bet ne procesu. Procesa analīze ir svarīga projektēšanas darbu darbietilpības samazināšanai, līdz ar to šo darbu resursietilpības (laika, cilvēka darba un atalgojuma, kopējo projekta izmaksu) samazināšanai. Lietotāja kļūdainus un/vai darbietilpīgus lēmumus mācībspēkam nav iespējams analizēt, ja vien viņš nenovēro apmācāmo visu uzdevuma izpildes laiku, fiksējot ikvienu apmācāmā kustību [42]. Jau iepriekšējās nodaļās secināts, ka darba izpildes novērošanu var veikt ar IT atbalstu mācību procesā, īstenojot to IMS veidā. Otrajā darba nodaļā secināts, ka aģentu darbība un sadarbība ļauj ne vien uzkrāt zināšanas par lietotāja darbībām sistēmā, bet arī dot apmācāmajam atgriezenisko saiti ar darbību analīzi.

Grafisko uzdevumu veikšanai *CAD/CAM* vidē ir sava noteikta secība/kārtība (3.1. att.), taču veikto uzdevumu kvalitāti (precizitāti, ātrumu u. tml.) tieši iespaido rasētāja/projektētāja zināšanas un prasmes sistēmas lietošanā.

Grafisko uzdevumu veikšana CAD/CAM vidē

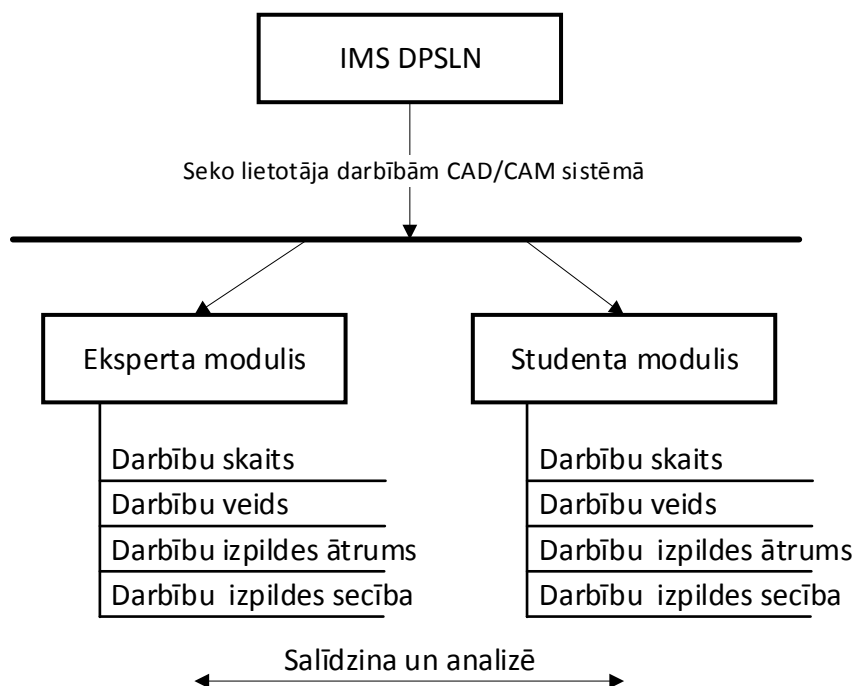


3.1. att. Grafisko uzdevumu veikšanas struktūra.

Lai nodrošinātu aprakstīto resursietilpības novērtēšanu, projektējamai IMS DPSLN nepieciešamie moduļi neatšķiras no tradicionālās IMS moduļiem, taču atšķiras tajos integrējamās darbības.

Realizējot IMS konkrētai problēmsfērai, tiek modelēts tāds studenta moduļa saturs, kas atbilst sistēmas mērķiem un uzdevumiem, kā arī ko sistēma spēj izmantot apmācības īstenošanai. IMS DPSLN mērķis nav apmācība tradicionālajā izpratnē – mācību īstenošana kā metodisks mācību satura izklāsts ar IMS DPSLN netiek plānota, tāpēc studenta modulim nav jāietver informācija (ko IMS studentu modulis tradicionāli iekļauj) par mācību saturu, kāds studentam ir jāapgūst, kādu tas jau apguvis. IMS DPSLN studenta modulim ir jāietver informācija par uzdevumiem, ko eksperts ir nosūtījis studenta izpildei, par uzdevumiem, kas jau ir izpildīti un studenta sekmēm. IMS datorizētās projektēšanas sistēmu lietojuma novērtēšanai (DPSLN) jāuzkrāj informācija par katru apmācāmā darbību datorizētās projektēšanas sistēmā, jāveic darbību analīze un zināšanu līmeņa analīze.

IMS DPSLN īsteno *CAD/CAM* sistēmu lietojuma novērtēšanu, seko apmācāmā darbībām (un analizē tās) datorizētās projektēšanas sistēmu (*CAD*) lietojuma laikā – salīdzina apmācāmā veikumu ar eksperta darbībām (3.2. att.).



3.2. att. IMS DPSLN Studenta un eksperta moduļu darbības detalizācija.

IMS DPSLN ar ekrāna nolasīšanu seko apmācāmā darbībām, uzskaita tās, fiksē darbību veidu (funkcijas un rīkus, ko apmācāmais izvēlas uzdevuma īstenošanai), uzskaita darbību izpildes ātrumu un secību, veicot darba organizācijas analīzi *CAD/CAM* sistēmas lietošanas laikā.

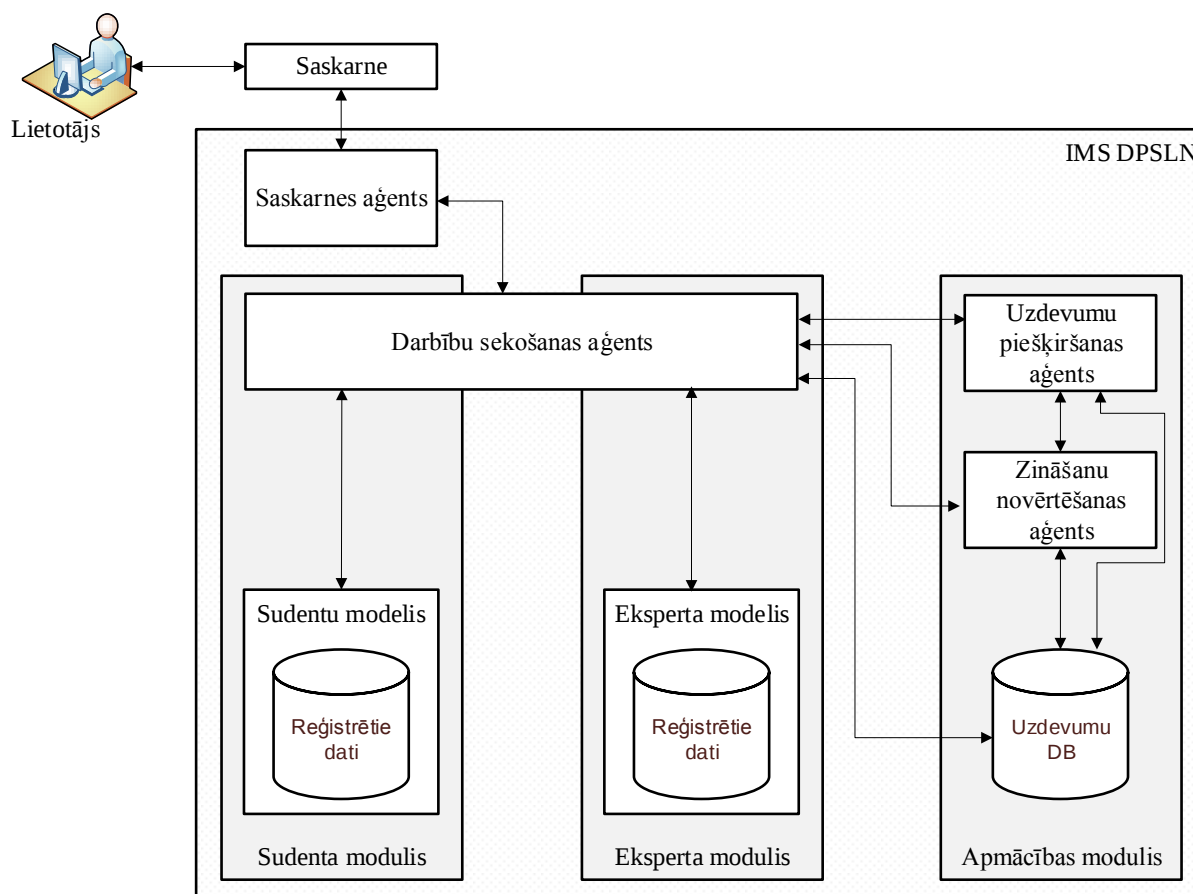
Lai realizētu IMS, kas novērtē mācību uzdevumu izpildi datorizētās projektēšanas sistēmā, eksperta modelī nepieciešams ģenerēt uzdevumus, to izpildes parametrus un grūtības pakāpes. IMS DPSLN eksperta moduļa arhitektūra atšķirībā no tradicionālā IMS iekļautā eksperta moduļa līdztekus ekspertu modelim un ekspertu ģenerēto uzdevumu pārvaldībai ietver arī ekspertu darbību izsekošanu. Šāda komponente nepieciešama, lai sistēma īstenotu savu galveno uzdevumu – novērtētu apmācāmā uzdevumu izpildi darbā ar *CAD/CAM* sistēmām, salīdzinot to ar ekspertu veikumu.

IMS DPSLN mērķis nav apmācība, bet gan *CAD/CAM* sistēmu lietojuma novērtēšana, tāpēc no tradicionālā IMS apmācību moduļa IMS DPSLN realizācijai ir jālieto tikai tās funkcijas, kas saistītas ar uzdevumu uzglabāšanu, uzdevumu ģenerēšanu, piešķiršanu un zināšanu novērtēšanu. Apmācību modulī zināšanu novērtēšanai datorizēto sistēmu lietojumā nepieciešams integrēt zināšanu novērtēšanas un uzdevumu piešķiršanas funkcionalitātes.

Lietotāja saskarne – tai ir jākalpo kā komunikāciju platformai, kurā izvada problēmu (izsniedz apmācāmajam uzdevumu, informē par izpildes noteikumiem), pieņem risinājumus.

Visiem minētajiem moduļiem jāsadarbojas, sniedzot (dodot) un saņemot informāciju, izgūstot uzdevumus no datubāzes un nosūtot informāciju par to izpildi. Atdalāmas IMS

funkcijas var tikt realizētas kā atsevišķi aģenti, kuru īpašībās ietilpst spēja komunicēt, sadarboties un apmācīties vienam no otra, lai sasniegtu apmācību mērķus.



3.3. att. IMS DPSLN arhitektūra.

Promocijas darbā ir piedāvāts IMS DPSLN veidot kā daudzāģentu sistēmu, kas sastāv no četriem programmatūras aģentiem, kas savā starpā nodod datus, un diviem cilvēkiem – aģentiem: eksperta un apmācāmā, kas komunicē ar saskarnes aģentu. Pārējie aģenti rīkojas atbilstoši aģentu darbībām intelektuālās mācību sistēmās (aprakstīti promocijas darba 2.2. nodaļā) [43]. Iesaistāmie aģenti: saskarnes aģents, darbību sekošanas aģents, uzdevumu piešķiršanas aģents un zināšanu novērtēšanas aģents. Aģenti veic apmācāmā darbību izsekošanu, eksperta uzdoto uzdevumu ievietošanu datubāzē un atbalsta uzdevumu piešķiršanas procesā, novērtē apmācāmā izpildītos uzdevumus atbilstoši iegūtai un datubāzē saglabātajai informācijai (3.3. att.).

IMS DPSLN arhitektūrā izmantoti klasiskie trīs moduļi – studenta, eksperta un apmācības modulis, kuru darbība atbalstīta ar aģentiem. Aģentu darbības nodrošina IMS DPSLN galveno uzdevumu, kāds netiek realizēts tradicionālajās IMS – soli pa solim sekot un reģistrēt lietotāja darbības, izdalot tās atsevišķos uzskaitāmos un pārbaudāmos vienumos (izmantotās funkcijas, to skaits, katras funkcijas izpildei/lietošanai patērētais laiks).

Aģentu iesaiste ir īpaši svarīga IMS galvenajai funkcionalitātei – ieviest pilnvērtīgu mehānismu apmācāmā zināšanu novērtēšanai. Tādējādi tiek pilnveidots un uzlabots viss

apmācības process. 1. nodaļā jau konstatēts, ka tieši informācijas trūkums par apmācāmā darbībām uzskatāms par šī brīža apmācību procesa galveno nepilnību.

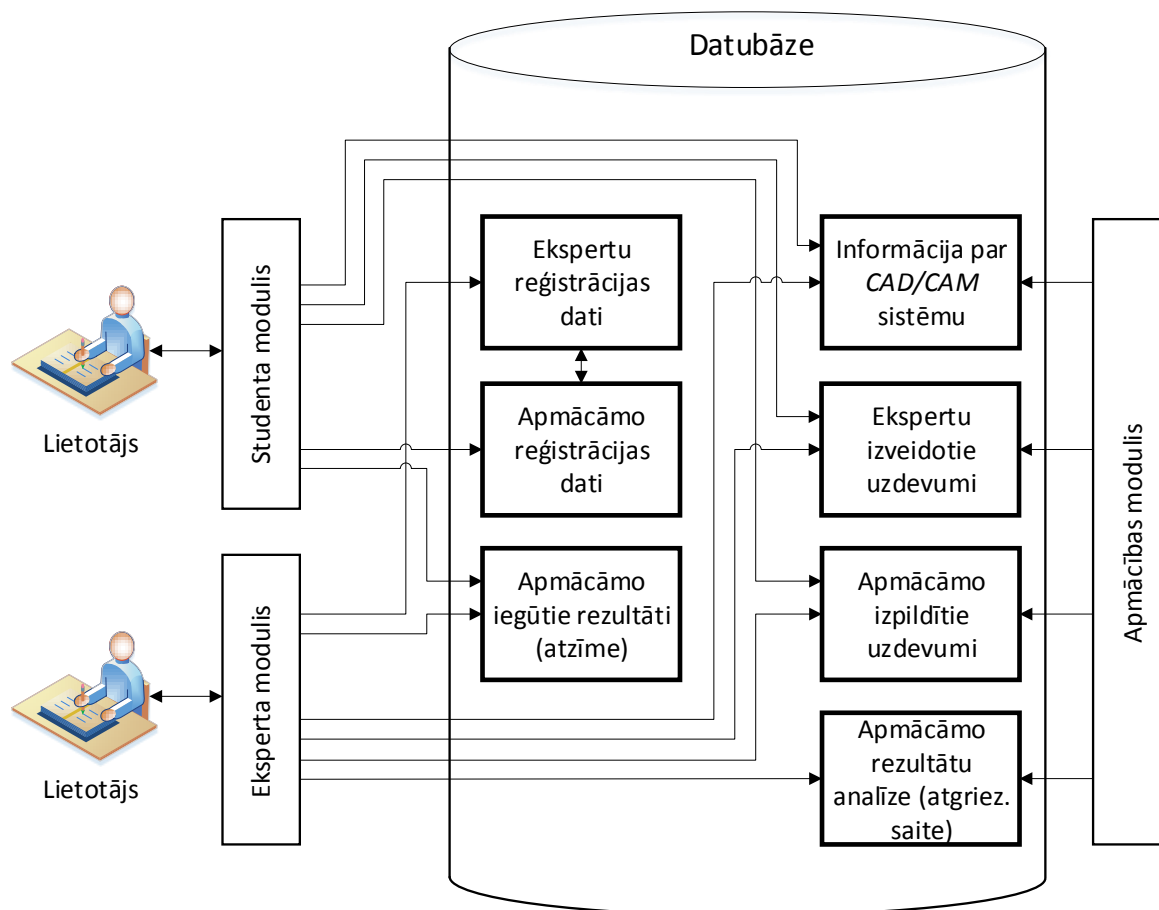
Saskarnes aģents vēro izmaiņas funkciju datubāzē, kuru papildina darbību sekošanas aģents, ja izmaiņas ir notikušas, darbību izsekošanā soli pa solim (formatīvais vērtējums) tiek sniegta atgriezeniskā saite – ieteikumi zināšanu pilnveidošanai un kļūdu labošanai. Atgriezeniskā saite tiek publicēta lietotājam tikai tad, ja tā ir nepieciešama darbību koriģēšanai (apmācāmais netiek traucēts darbā ar pozitīviem paziņojumiem). Ja notiek kompetenču novērtēšana (ekspertu sagatavotības un prasmju, rīcības *CAD/CAM* sistēmā novērtēšana), tad informācija par padarīto lietotājam tiek sniegta tikai darba beigās (summatīvais vērtējums).

IMS DPSLN darbības algoritmu veido procesi, kas nepieciešami lietotāju darbību izsekošanai, uzskaitēi, analīzei un saglabāšanai. Sistēmas darbība parādīta 3.4. attēlā.

Sākot darbu IMS DPSLN, notiek reģistrēšanās, dati par to, kāda veida darbība ir izvēlēta, tiek pārsūtīti uz nākamo procesu. Dati iekļauj informāciju par lietotāju (izgūst no iepriekš sagatavotas datubāzes – lietotāju modeļu dati: reģistrācija, veiktās darbības), pārbaudei (vai uzdevuma ģenerēšanai) izvēlēto *CAD/CAM* sistēmu, izvēlēto uzdevumu un funkcijas, kas reģistrētas atbilstoši *CAD/CAM* sistēmai (pirms darba uzsākšanas *CAD/CAM* sistēmas rīki un funkcijas jāreģistrē IMS DPSLN datubāzē, lai ekrāna nolasīšanas laikā tiktu atpazītas visas darbības).

Pēc datu pārbaudes, izvēlētās *CAD/CAM* sistēmas un uzdevuma atbilstības pārbaudes, lietotājs var sākt uzdevuma izpildi. Aktivizējot jebkuru ekrānpunktu (tiek reģistrēti kā skaitliskas vērtības ortogonālās koordinātās), IMS DPSLN lietotājam nemanāmi (ekrāna nolasīšana notiek, netraucējot lietotāju) pārbauda, vai aktivizētajās koordinātās atrodas uzdevuma izpildei nepieciešama funkcija. Tiek uzskaitītas gan lietderīgās darbības, gan tādas, ko uzdevuma izpildē eksperts nebija iekļāvis. Informācija tiek iekļauta sistēmas datubāzē turpmākai analīzei.

Ar visu aprakstīto aģentu palīdzību tiek īstenotas visas iepriekš aprakstītās zināšanu pārbaudes aktivitātes, informācija tiek ierakstīta datubāzē. Datubāze visiem moduļiem ir viena (3.5. att.) – tajā tiek glabāti visu lietotāju reģistrācijas dati, informācija par ekspertu izveidotajiem uzdevumiem, apmācāmo izpildītajiem uzdevumiem un iegūtajiem vērtējumiem.



3.5. att. IMS DPSLN datubāzes saturs.

Sākotnēji IMS datorizētās projektēšanas sistēmu lietojuma novērtēšanai (DPSLN) tiek definēti pamatelementi, kas tiks izmantoti zināšanu novērtēšanai *CAD/CAM* sistēmā. Šie elementi tiek definēti katrai *CAD* sistēmai atsevišķi, taču ir universāli to ģeometriskā raksturojuma aspektā.

Uzdevumu izveide *CAD/CAM* tradicionālajā apmācībā visbiežāk ir mācībspēka pārziņā, ja vien nav izdota grāmata, kurā vienkārši pārbaudes darbi doti kā piemēri. Zināšanu pārbaudei eksperts/skolotājs veic testa piemēra sagatavošanu, kā arī identificē funkcijas, kas ir nepieciešamas konkrētā uzdevuma izpildei. Nav daudz paraugu un sagatavju zināšanu pārbaudes uzdevumiem *CAD/CAM* sistēmās, tāpēc katrs skolotājs visbiežāk veido savu uzdevumu komplektu.

Pašlaik pastāvošā apmācībā un zināšanu pārbaudē *CAD/CAM* sistēmu lietojuma jomā darba vērtējums tiek balstīts gala izstrādes novērtējumā – eksperts (skolotājs) novērtē apmācāmā paveikto, pārbauda rezultāta vizuālo atbilstību, mērogojumu un grafisko vienumu

skaitu. Pamatojoties šajos parametros, eksperts izliek vērtējumu par paveikto, kas var būt arī subjektīvs.

Lai izvairītos no problēmas, ka izpildītājs izvēlas sev zināmāko ceļu līdz rezultātam (izmantojot tikai tās funkcijas, kas viņam šķiet parocīgas), kas ne vienmēr ir ātrākais un efektīvākais paņēmieni, ir nepieciešamība ieviest objektu izveides darbību uzskaiti. Apmācāmo zināšanu novērtēšana notiek, salīdzinot apmācāmā izpildītos uzdevumus ar eksperta veikumu. Vispirms sistēmā tiek izveidota darbību, procesa un laika uzskaitē ekspertam, šī informācija ir eksperta aģenta rīcībā, kurš tālāk informē uzdevumu piešķiršanas un zināšanu novērtēšanas aģentus. Apmācāmā darbību novērtēšanai tiek identificēts, cik daudz pareizu darbību students ir veicis, līdz ar to viņa paveiktā vērtējums tiek izteikts ar 3.1. formulu.

$$A_d = 10 \left(\sum_{i=1}^n DA_i \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^n DE_i \right), \quad (3.1.)$$

kur

A_d – atzīme par veikto uzdevumu, ja atzīmes aprēķinam tiek ņemts vērā tikai darbību skaits;

10 – šobrīd Latvijā lietotās vērtēšanas sistēmas maksimālā atzīme;

DA – apmācāmā veiktās darbības;

DE – eksperta veiktās darbības;

n – darbību skaits, kur n ir naturālu skaitļu kopa.

Jau iepriekš aprakstīts, ka svarīgi ne tikai tas, cik funkcijas/rīkus sistēmā lieto apmācāmais (ar mērķi panākt atbilstošu rīku lietojumu darba efektivitātes nodrošināšanai), bet projektētāja darba novērtējumu iespaido arī patērētais laiks. Jo ātrāk darbinieks/apmācāmais spēj veikt uzdevumu, jo vērtīgāks šāds darbinieks ir industrijā. Lai aprēķinātu atzīmi (3.4. formula), kas atkarīga no uzdevuma izpildes laika, tiek ieviesti divi koeficienti – koeficients, ja apmācāmais ir iekļāvis eksperta uzdotajā laikā (aprēķina pēc 3.2. formulas), un koeficients, ja apmācāmais ir pārsniedzis gan eksperta laiku, gan arī doto papildlaiku (aprēķina pēc 3.3. formulas).

$$K_l = \left(\sum_{i=1}^n LA_i \right) \left(\sum_{i=1}^n LE_i \right)^{-1} - 1, \quad (3.2.)$$

$$K_{pl} = \left(\sum_{i=1}^n L_{pl_i} \right) \left(\sum_{i=1}^n LE_i \right)^{-1}, \quad (3.3.)$$

$$A_l = 10 - K_l K_{pl}^{-1}, \quad (3.4.)$$

kur

A_l – atzīme par veikto uzdevumu, ja atzīmes aprēķinam tiek ņemts vērā tikai izpildes laiks;

K_l – koeficients, kas atkarīgs no laika (laiks, kurā eksperts izpilda uzdevumu);

K_{pl} – koeficients, eksperta dotais papildlaiks, ja uzdevums ir sarežģīts;

10 – šobrīd Latvijā lietotās vērtēšanas sistēmas maksimālā atzīme;

LA – apmācāmā uzdevuma izpildes laiks;

LE – eksperta uzdevuma izpildes laiks;

L_{pl} – eksperta dotais papildlaiks;

n – laika uzskaitījuma minūšu skaits, kur n ir naturālu skaitļu kopa.

Gala vērtējums tiek aprēķināts, summējot abas iegūtās atzīmes (3.5. formula), kas var tikt koriģētas ar koeficientiem. Korekcija nepieciešama tajā gadījumā, ja kāda no darba izpildes komponentēm (darbību skaits, izpildes laiks) ir svarīgāka par otru. Abu koeficientu summai jābūt vienādai ar 1 – lai neveiktu atzīmes neatbilstošu korekciju (nepārkāptu maksimālās atzīmes vērtību 10). Pēc noklusējuma koeficientu vērtības ir $\frac{1}{2}$ – tādējādi gala atzīmē vienlīdz svarīgi tiek ņemts vērā gan laiks, kurā apmācāmais izpildījis darbus, gan darbību skaits. Šie koeficienti ir koriģējami atbilstoši eksperta pieredzei un zināšanām. Ja eksperts zina, ka galvenais uzdevuma izpildē ir laiks (piemēram, vienkāršs pārbaudes uzdevums, kurā lietojams neliels skaits funkciju), tad viņš izmaina K_2 , un K_1 tiek aprēķināts automātiski, ņemot vērā, ka abu koeficientu summa nedrīkst pārsniegt vērtību 1.

$$A = K_1 A_d - K_2 A_l, \quad (3.5.)$$

kur

A – atzīme par veikto uzdevumu;

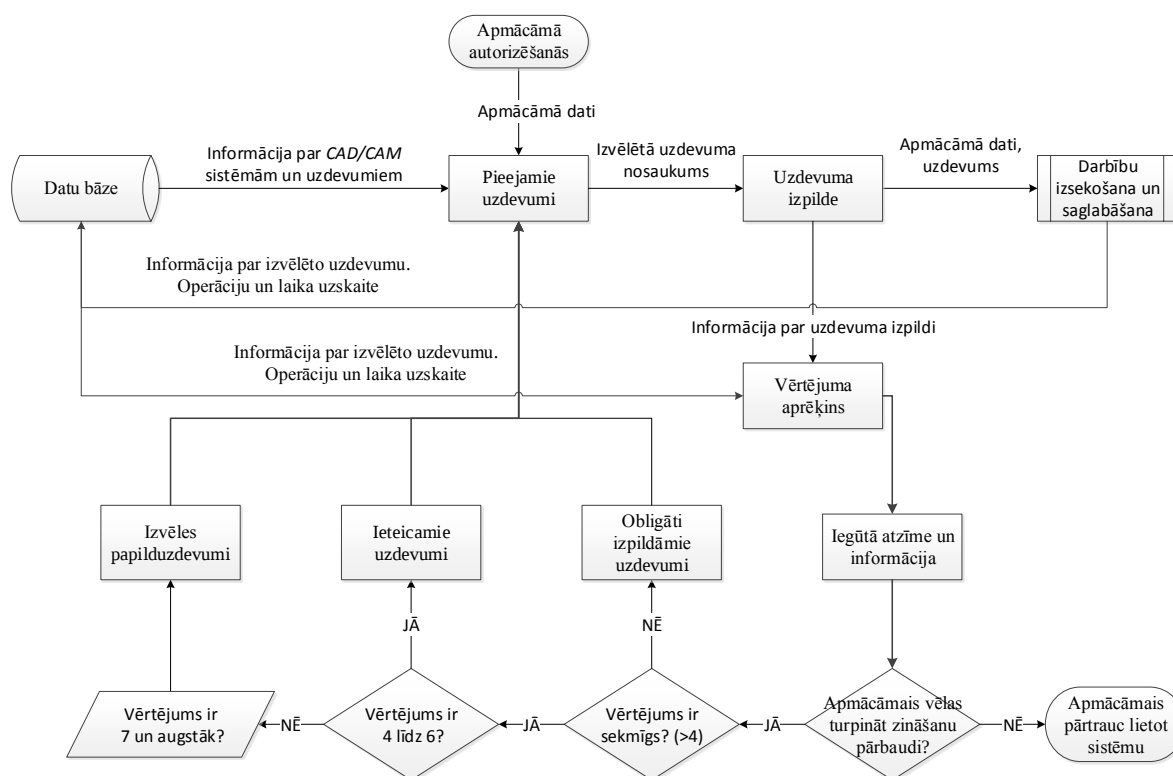
A_d – atzīme par veikto uzdevumu, ja atzīmes aprēķinam tiek ņemts vērā tikai darbību skaits;

A_l – atzīme par veikto uzdevumu, ja atzīmes aprēķinam tiek ņemts vērā tikai izpildes laiks;

K_1 – darbību skaita svarīguma koeficients;

K_2 – izpildes laika svarīguma koeficients.

Līdztekus atzīmei lietotāji saņem informāciju par paveikto. Ekspertam pieejams saraksts ar visām apmācāmā lietotajām funkcijām/rīkiem, patērēto laiku, kā arī informācija, kas tika atspoguļota lietotājam pēc uzdevuma izpildes. Apmācāmais gūst informāciju par laiku, kurā uzdevums bija jāpaveic, pieļaujamo papildlaiku un laiku, ko pats patērējis, izpildot uzdevumu, darbību un laika svarīguma koeficientus, kā arī iegūto atzīmi par paveikto. Papildus tiek dota informācija, kas atkarīga no uzdevuma izpildes sekmīguma. Informācija lietotājam uzskatāma par atgriezenisko saiti, ja tajā ir norādes, kas lietotājam jāveic sava veikuma koriģēšanai (uzlabošanai). Ja lietotājs ir sasniedzis labus rezultātus (atzīme 7 un augstāk), viņš saņem informāciju par atzīmi bez korekcijām turpmākām darbībām. Tādā gadījumā lietotājam ir iespēja izvēlēties uzdevumu izpildei, ja viņš vēlas turpināt darbu (3.6. att). Zemāka rezultāta (zem atzīmes 7) gadījumā informācija satur atgriezenisko saiti – ar ieteikumu turpmākām darbībām zināšanu uzlabošanai (korekcijai).



3.6. att. Uzdevuma izpildes novērtējuma process.

3.6. attēlā redzams uzdevumu izpildes novērtējuma process, kurā parādīts, ka, ja apmācāmais izvēlas darbu turpināt, tas var apgūt papildu uzdevumus. Ja apmācāmajam vienas darba sesijas laikā ir plānots izpildīt vairākus pārbaudes uzdevumus, tad līdztekus papildu uzdevumiem vai ieteicamajiem uzdevumiem viņam tiek piedāvāts izpildīt ieplānoto uzdevumu. Ja vērtējums ir nesekmīgs, apmācāmajam tiek piedāvāts izpildīt obligātos uzdevumus, kas ir vienkāršāki par sākotnējo pārbaudes uzdevumu. Pat tad, ja lietotājs darbu ar sistēmu pārtrauc, nākamajā sesijā sistēma piedāvā šos vienkāršākos uzdevumus, taču lietotājs var izvēlēties veikt pārbaudes uzdevumu (to, kurā guva sliktu vērtējumu) atkārtoti.

3.2. IMS DPSLN darbība

IMS DPSLN mērķis ir pārbaudīt apmācāmā zināšanas datorizētās projektēšanas uzdevumu izpildei, analizēt apmācāmā veikumu, salīdzināt to ar eksperta piedāvāto risinājumu un sniegt informatīvu atgriezenisko saiti gan apmācāmajam – par rezultātiem uzdevuma izpildē, gan mācībspēkam – par apmācāmā kļūdām, tādējādi informējot par nodarbībās aktualizējamām tēmām. Sistēmai jābūt saderīgai ar CAD/CAM sistēmām, jāspēj “novērot” tajās veiktie procesi. Intelektuālas mācību sistēmas gadījumā ne vienmēr iespējams specificēt katru iespējamo reakciju, kas tiek prasīta no programmatūras [44], tāpēc šeit aprakstītas galvenās prasības sistēmai [45].

IMS DPSLN ir sistēma, kas projektēta lietošanai stacionārajā vai portatīvajā datorā, tās darbība nedrīkst traucēt un/vai pārtraukt CAD/CAM sistēmas darbību, iejaukties tajā vai uzsākt darbības un/vai procesus, ko neizvēlas/neveic CAD/CAM sistēmas lietotājs.

Par sistēmas lietotāju tiek uzskatīts jebkurš, kurš izveido un aktivizē savu lietotāja profilu. Lietotāji tiek iedalīti trīs kategorijās – publiskās daļas lietotāji (apmācāmie), kam ir piekļuve uzdevumu izpildei un atgriezeniskai saitei par paveikto, eksperti, kuriem ir pieeja uzdevumu izveidei, izpildei un apmācāmo rezultātiem darbā ar *CAD/CAM* sistēmām IMS DPSLN lietošanas laikā, administrators, kuram ir pieeja visai informācijai un datubāzes pārvaldībai. Sistēmas administrēšana notiek tās slēgtajā (tikai autorizētiem lietotājiem pieejamā) daļā, administrators var mainīt datus par lietotājiem, datubāzes novietojumu un veikt citas ar IMS DPSLN turētājiem saskaņotas darbības.

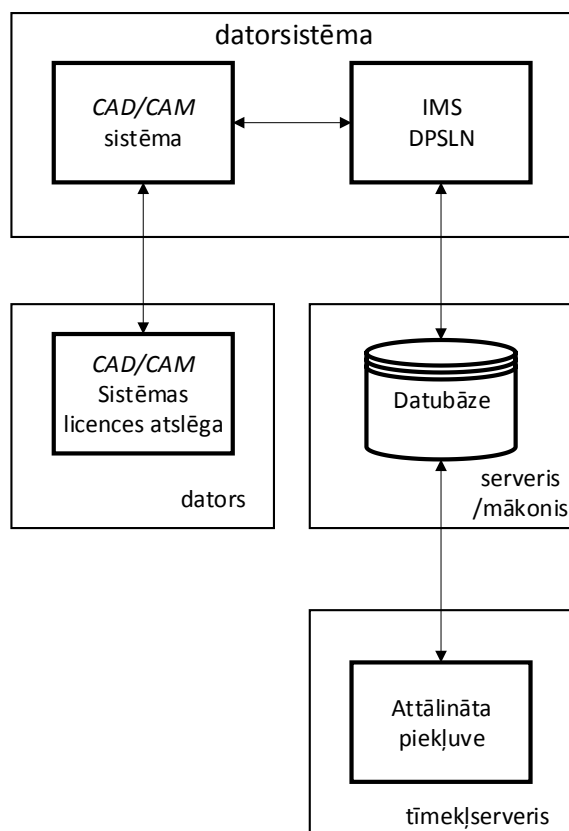
Sistēmai ir nepieciešams interneta pieslēgums – tās datubāze tiek glabāta mākonī, neierobežojot lietotāju iespējas mainīt savu atrašanās vietu vai darbstaciju (ciktāl to neierobežo *CAD/CAM* sistēmas licencēšanas un piekļuves nosacījumi). Datubāzei jāuzglabā informācija par sistēmas jaunākajām versijām, lietotājiem, darba cikliem, paveiktajiem un integrētajiem uzdevumiem un citām aktivitātēm, kas veiktas saskaņā ar sistēmas mērķiem.

IMS DPSLN satur datorsistēmā instalētu programmatūru, datubāzi un pieeju tai, lai pārvaldītu tajā esošos datus. Programmatūras daļa komunicē ar *CAD/CAM* sistēmu datu iegūšanai no tās (3.7. att.). *CAD/CAM* sistēmas novērošana ar lietotāja darbību izsekošanu ļauj IMS DPSLN veikt datu izgūšanu un tālāku nosūtīšanu datubāzei. IMS DPSLN neiejaucas *CAD/CAM* sistēmas darbā, bet, izmantojot ekrāna nolasīšanu un intelektuālus aģentus, kas savā starpā nodod datus, veic lietotāju (apmācāmo) darbību uzskaiti un izpildīto uzdevumu novērtēšanu, nosūtot šos datus uz datubāzi. IMS DPSLN uzskaita arī eksperta veiktās darbības uzdevumu izpildē, lai datubāzē saglabātu paraugu, ar ko aģents salīdzina lietotāja veikumu. Administrators caur tīmekli (*Web*) piekļūst datubāzei, lai veiktu datu saglabāšanu, uzzinātu informāciju par sistēmu, tās lietojumu, atjauninājumu instalēšanu.

Sākot darbu IMS DPSLN, lietotājs tiek reģistrēts sistēmā. Ekspertam pieejamas funkcijas – jaunu uzdevumu pievienošana, *CAD/CAM* izsekošanas loga (caurspīdīga, tāda, kas netraucē *CAD/CAM* sistēmas lietošanā, neiejaucas tajā) pielāgošana IMS DPSLN, *CAD/CAM* sistēmas rīku un funkcijtaustiņu pievienošana IMS DPSLN. Apmācāmais saņem darba uzdevumu, var pārvietot *CAD/CAM* sistēmas rīkus un funkcijtaustiņus tam vēlamā izkārtojumā (ja *CAD/CAM* sistēmā ir integrēta šāda iespēja), kā arī aktivizē darba pārbaudi (darbību izsekošanu un analīzi), ko var pārtraukt, ja apmācāmais izlemj darbu neturpināt vai arī darba beigās, kad uzdevums izpildīts.

Ar IMS DPSLN lietotāji (apmācāmie un eksperti) gūst informāciju (arī atgriezenisko saiti) par apmācību un *CAD/CAM* sistēmu lietojumu. Sistēmā integrēti aģenti, kas nodod datus apmācāmā veikuma salīdzināšanai ar eksperta paveikto, ņem vērā uzdevumu izpildes laiku, analizē katras *CAD/CAM* sistēmas funkcijas lietojumu. Pēc darba beigām lietotāji saņem informāciju un paveiktā analīzi. Apmācāmais gūst informāciju par saņemto atzīmi, pieļautajām kļūdām, ja tādas bijušas, kā arī papildu uzdevumiem, ja uzdevums nav veikts pietiekami labā līmenī – nav sasniegta minimāli noteiktā atzīme 4. Atgriezeniskā saite apmācāmajam tiek dota pēc uzdevuma izpildes. Ja apmācāmais netiek galā ar uzdevumu, viņš var pārtraukt darba sesiju un vērsties pie mācītbspēka klātienē vai attālināti vai arī lietot *CAD/CAM* sistēmas palīdzības vedni, lai risinātu uzdevuma izpildi – arī šos soļus IMS DPSLN uzskaita un informē par tiem ekspertu. Eksperts gūst informāciju gan par apmācāmā

iegūto atzīmi un ieteiktajiem uzdevumiem, gan arī detalizētu informāciju (pilnu pārskatu) par apmācāmā veiktajām darbībām un tām patērēto laiku.



3.7. att. IMS DPSLN darbības blokshēma [46].

IMS DPSLN veic šādas darbības:

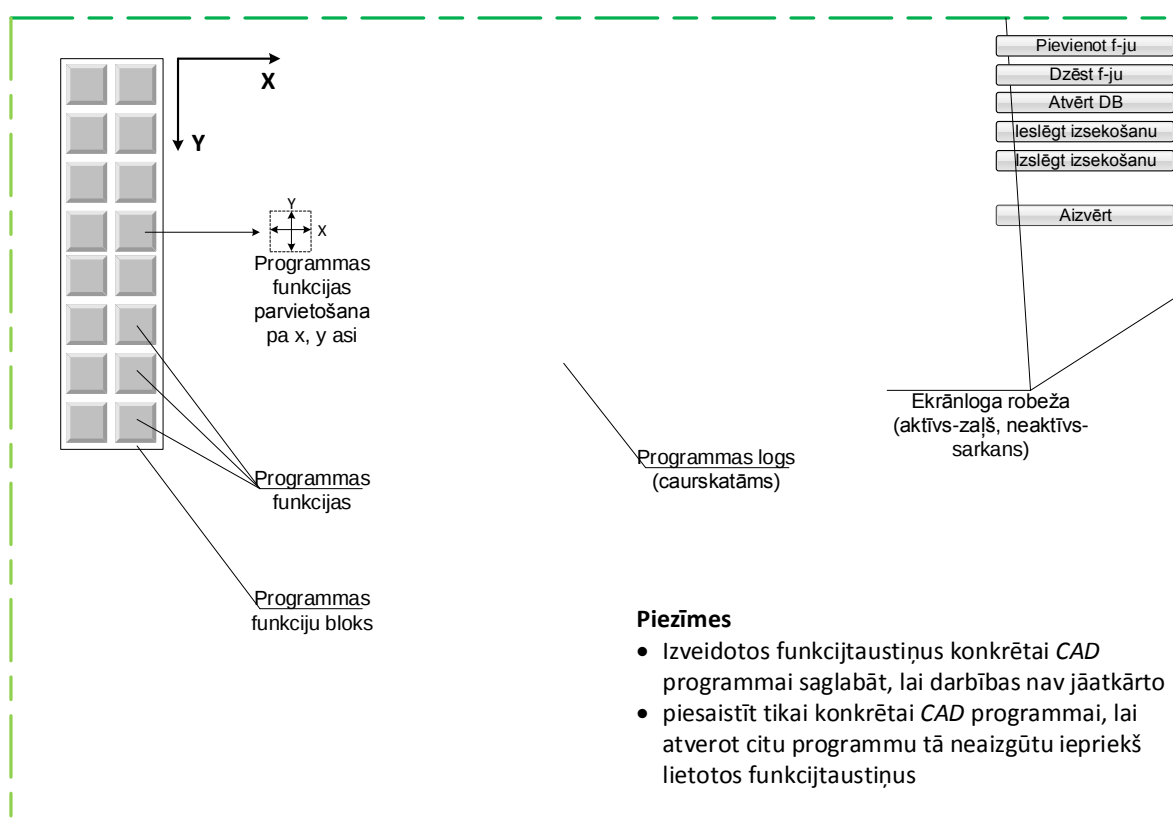
- 1) sākot apmācību, apmācāmais saņem pārbaudes uzdevumu konkrētas tematikas apguves pārbaudei;
- 2) apmācāmais veic uzdevuma izpildi apmācībai izvēlētajā *CAD/CAM* sistēmā;
- 3) IMS DPSLN veic zināšanu vērtēšanu, salīdzinot apmācāmā veikumu ar eksperta sniegtajiem datiem;
- 4) apmācāmais saņem rezultātu (atgriezeniskā saite), kad sistēma ir izguvusi informāciju par apmācāmā veikuma atbilstību un pareizību;
- 5) ja darbs paveikts nepietiekamā līmenī, apmācāmajam tiek piedāvāti attiecīgās tematikas uzdevumi (sistēma nosaka, kādi tieši trūkumi un zināšanu nepilnības konstatētas un piedāvā vienkāršus uzdevumus konkrētu *CAD/CAM* sistēmas funkciju apgūšanai);
- 6) ja darbs paveikts atbilstoši prasībām, tiek sniegts novērtējums un pāreja ved pie apmācības beigām.

IMS DPSLN izstrādes ierobežojumi saistāmi ar *CAD/CAM* sistēmu izstrādi. Nodaļas sākumā jau minēts, ka IMS DPSLN jābūt izstrādātai *Windows* platformā vai jāatbalsta tā *CAD/CAM* sistēmu darbības īpatnību dēļ. IMS DPSLN saskarnei jāatbalsta funkcijtaustiņu pārvietošana un/vai papildināšana atkarībā no *CAD/CAM* sistēmas saskarnes izkārtojuma.

IMS DPSLN lietošanai svarīgs ir interneta pieslēgums – sistēma izgūst un saglabā informāciju datubāzē, izmantojot tīklu, tāpēc tās darbībai ir svarīgs aktīvs interneta pieslēgums.

Sistēmas prasības iegūtas, analizējot populārākās *CAD/CAM* sistēmas, to darbību un uzbūvi, literatūrā minētās pieejas *CAD* apmācībā [1], [3], [16] un standartus, kas regulē programmatūras izstrādi [44], [45].

Līdztekus citām prasībām sistēmā jāietilpst ekrāna nolasīšana ar sekošanas aģentu, kas fiksē izmaiņas vidē (*CAD/CAM* sistēmā) (uzmetumu/skici skat. 3.8. att.). Tajā ietilpst jaunu taustiņu (funkciju – grafisko elementu, matemātiski ģeometrisku pārveidojumu, apraksta un citu detalizācijas izveides taustiņu) pievienošana un dzēšana.



3.8. att. IMS DPSLN saskarnes prototips.

Funkciju taustiņu novietošana (pārvietošana) pa programmas ekrānu. Funkciju (taustiņu) nosaukuma nomaiņa. Izsekošanas funkcijas aktivizēšana/apstādināšana. Datubāzes struktūras izveide, kurā ietilps funkciju nosaukumu, novietojuma (pa x, y asi) saglabāšana. Ekrāna funkcijas taustiņa izmēra mainīšana atbilstoši lietotās *CAD/CAM* sistēmas funkciju taustiņu izmēriem.

3.3. IMS DPSLN realizācija

Lai nodrošinātu centralizētu datu un datņu glabātuvi, IMS DPSLN ir tīmeklī balstīts lietojums, tīmeklī tiek uzglabāta sistēmas instalācija un atjauninājumi, kas nodrošina darbu ar jaunāko sistēmas versiju katram lietotājam neatkarīgi no lietotāja atrašanās vietas. Šāda pieeja

atvieglo sistēmas (IMS DPSLN) pieejamību – izstrādātājs piegādā jaunāko versiju tīmeklī, turklāt lietotājam nav nepieciešamības glabāt sistēmas instalāciju savā datu sistēmā.

IMS DPSLN ir tīmeklī balstīts lietojums, kas realizēts ar *.NET Framework 4.5* tehnoloģijām: *WPF (Windows Presentation Foundation)*; *WCF (Windows Communication Foundation)*, kas izpilda servisa operācijas; *EF (Entity Framework 6.0)*; *MSSQL* un *C#, C++* programmēšanas valodas. Lietota arī tehnoloģija, kas neietilpst *.NET Framework – Dropbox*. *Dropbox* kalpo kā kopīgota datu glabātuve. Aģenti ir realizēti programmēšanas valodās *C#, .NET, C++, MS SQL*, lietotas tehnoloģijas/bibliotēkas – *WPF, WCF, WF, Dropbox API, OpenCV, Spatial SQL*. Dati tiek glabāti *SQL* datubāzē.

IMS DPSLN sastāv no diviem atsevišķiem projektiem – “*DwgClient*”, kur atrodas visa klienta puses loģika (lietotāja saskarne, kļūdu ziņojumi u. c.) un servisa puse “*DwgService*”, kas nodrošina datubāzes operācijas, ienākošo datu apstrādi un saiknes uzglabāšanu ar aktīvajiem klientiem. Katrs projekts sastāv no vairākiem slāņiem, lai nodalītu loģiku atbilstoši tās funkcionalitātei un vieglāk būtu orientēties programmas izstrādes procesā. Lai programma būtu ātrdarbīgāka, tiek lietotas divas programmēšanas valodas, kur *C#* atbild par visu biznesa loģiku, datubāzes un servisa operācijām, savukārt *C++* veic attēlu apstrādāšanu, tiek izmantota *C++* bibliotēka – *Opencv*. Datubāzes operācijām izmanto *Microsoft Management Studio 2012 MSSQL* datubāzi.

Lietotājs autorizējas IMS DPSLN, izmantojot jebkuru interneta pārlūkprogrammu, ja tā ir lietotāja pirmā autorizācija no konkrētās darbstacijas, tad notiek klienta lietojumu lejupielādēšana no servera, kur glabājas sistēma, un lietojumu instalācija klienta pusē. Pretējā gadījumā, tiek pārbaudīts, vai ir kādi klienta lietojuma atjauninājumi, un tad tiek lejupielādētas tikai modificētās datnes. Lietotāja darbības laikā notiek datu apmaiņa starp servera pusē izvietoto datubāzi un klienta lietojumu.

4. IZSTRĀDĀTĀS IMS DPSLN APROBĀCIJA

Izveidotā IMS ļauj vērtēt apmācāmo zināšanas *CAD/CAM* sistēmu lietojumam sistemātiski – tas nozīmē, pārbaudot un analizējot katru izpildītā uzdevuma soli un izpildes laiku. Šāda sistēma (IMS DPSLN) ļauj arī analizēt izveidoto uzdevumu kvalitāti un atbilstību nepieciešamo zināšanu pārbaudei. Ja skolotājs integrē sistēmā pašvērtējuma uzdevumus, tad izveidotā IMS ļauj veikt arī savu zināšanu patstāvīgu novērtējumu – gūstot priekšstatu par apgūto. Tas ļauj apmācāmajam neatkarīgi no skolotāja kontrolēt savu zināšanu līmeni un savlaicīgi apgūt iekavēto, ja atklājas nepilnības zināšanās [46].

Lai īstenotu IMS DPSLN mērķi – pārbaudīt un novērtēt apmācāmo zināšanas *CAD/CAM* sistēmu lietojumā, nepieciešams izstrādāt pārbaudes uzdevumus, kurus integrē IMS un lieto atbilstoši tam, kāds ir mācību plāns un pārbaudāmās prasmes.

4.1. Darbs ar IMS DPSLN

Lietojot IMS DPSLN, nepieciešams reģistrēties sistēmā, pirmo reizi autorizējoties tajā, vai arī pieslēgties, ja lietotājs jau ir reģistrēts. Sistēmas lietotāju lomas ir dažādas, tāpēc ekspertu autentifikācija notiek automātiski – ievadot eksperta datus, sistēma atpazīst lietotāja kategoriju. Savukārt, lai reģistrētos eksperta lomai, izveidota aile “Kā eksperts”. Atzīmējot šo izvēlni, pieslēgšanās logā atveras papildu ailes, ko nepieciešams aizpildīt, lai reģistrācija vai pieslēgšanās būtu veiksmīga. Lai izvairītos no situācijas, kad kāds patvaļīgi pierēģistrējas sistēmā kā eksperts, izveidota administratora parole. Šajā parolē ir burti, cipari un speciālās zīmes, tādējādi padarot to drošu. Kā jau minēts, šī parole tiek uzglabāta datubāzē atsevišķā tabulā “AdministratoraParole”.

Pēc autorizācijas sistēmā lietotājs izvēlas programmu – *CAD/CAM* sistēmu, kurā notiks darbs, programmas versiju un uzdevumu, ar kuru strādās. Atkarībā no piešķirtās lomas lietotājs (eksperts vai apmācāmais) vai nu sāk uzdevuma izpildi, vai arī izveido jaunu uzdevuma paraugu. Eksperts var strādāt arī ar darbību sekošanas aģenta sagatavotajiem datiem, aktivizējot izvēlni “Aģents”. Lai aplūkotu darbību sekošanas aģenta sagatavoto informāciju par apmācāmā izpildīto uzdevumu, jāaktivizē izvēlne “Apskatīt rezultātus”. Uzdevuma pārvaldīšanas cilnē var veikt uzdevuma rediģēšanu, pievienošanu un dzēšanu. Šajā cilnē pēc uzdevuma reģistrēšanas un izpildīšanas (eksperta paraugizpildījums, no kā informāciju gūst zināšanu novērtēšanas aģents), tiek uzrādīts laiks, kurā uzdevumu ir izpildījis eksperts (augšējā robeža līdz veselai minūtei), kā arī eksperta ievadītais papildlaiks, kas tiek ņemts vērā tad, kad apmācāmais izpilda uzdevumu.

Programmu pārvaldīšanas cilnē var veikt visas nepieciešamās operācijas ar lietojumprogrammām (*CAD/CAM* sistēmām), piemēram, pievienot jaunu, rediģēt, dzēst, pievienot jaunas funkcijas, rediģēt tās, dzēst. Aktivizējot reģistrēto lietojumprogrammu, redzamas tai piesaistītās funkcijas, to nosaukumi un attēls.

Informatīvā atgriezeniskā saite ekspertam tiek apkopota atsevišķā cilnē. Šajā cilnē eksperts redz apmācāmā patērēto laiku, uzdevumam piešķirto papildlaiku, aprēķinātos

koeficientus: darbību skaita svarīguma koeficients K_1 un izpildes laika svarīguma koeficients K_2 (tiek izgūti no sadaļas “Uzdevuma pārvaldīšana”).

Apmācāmā iegūtā atzīme (aprēķina formulas dotas 3.1.5. nodaļā) un informācija (apmācāmajam sniegtā kļūdu analīze un ieteiktie uzdevumi) tiek atspoguļoti atsevišķos cilnes laukos (4.1. att.).

The screenshot shows a web application window titled "Aģents". It has a navigation bar with five tabs: "Operāciju izvads", "Apskatīt rezultātus", "Uzdevumu pārvaldīšana" (which is active), "Programmu pārvaldīšana", and "Atgriezeniskā saite". The main content area is divided into two columns. The left column contains several dark grey labels: "Patērētais laiks:", "Atvēlētais laiks:", "Eksperta dotais papildlaiks:", "Darbību skaita svarīguma koeficients (k1):", "Izpildes laika svarīguma koeficients (k2):", "Atzīme:", and "Informācija:". The right column contains corresponding white input fields. The "Informācija:" label is followed by a large, empty text area. The interface is enclosed in a light grey border with a scrollbar on the right.

4.1. att. Aģenta informācija – atgriezeniskā saite IMS DPSLN.

Lietotājs darbu ar sistēmu beidz, aizverot to ar funkcijtaustiņu labajā augšējā stūrī (krustiņš).

4.2. IMS DPSLN aprobācija studentu grupās

Kā jau aprakstīts iepriekš, šī promocijas darba mērķis ir zināšanu pārbaude, tādēļ šī darba aspektā autors neiedziļinās mācīšanas paņēmienos un didaktiskajās metodēs. Lai lietotu IMS DPSLN, katra mācībspēka/eksperta ziņā ir izveidot uzdevumus. Detalizētus un specializētus projektēšanas uzdevumus pielāgojot konkrētas CAD/CAM sistēmas pārbaudei, veido uzdevumu datubāzi, kas nepieciešami konkrētas nozares CAD/CAM sistēmu apguvei. Savukārt vienkāršus, vispārīgus uzdevumus var izveidot apmācāmo zināšanu pārbaudei ikvienā CAD/CAM sistēmā – grafisko pamatvienumu funkciju (CAD/CAM sistēmas rīku) lietojuma pārbaudei.

IMS DPSLN aprobācija iekļauta Rīgas Tehniskās universitātes studiju priekšmeta MŠM533 “Apģērbu automatizētā projektēšana” īstenošanā, tā notika RTU Dizaina tehnoloģiju institūta CAD/CAM laboratorijā. Kopumā sistēmu izmantoja 46 studenti (vairākās

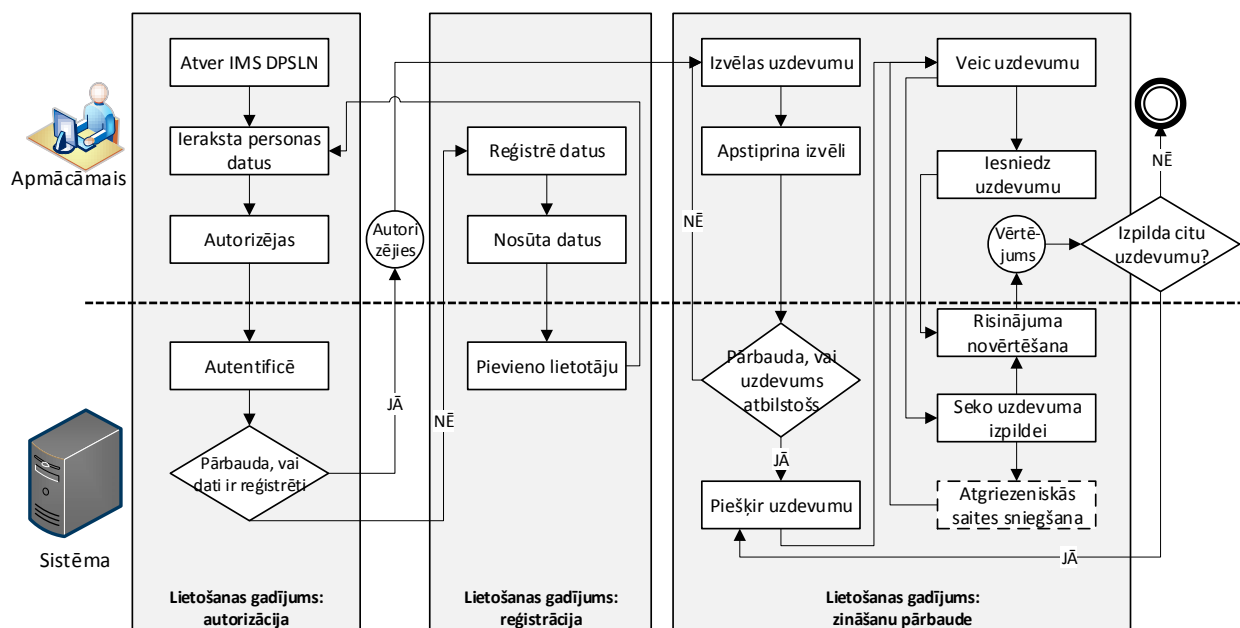
grupās). Studenti šajā priekšmetā apgūst datorizētās projektēšanas sistēmu *GRAFIS*, studentiem, sākot kursu, par sistēmu zināšanu nav. Atbilstoši pirmajā nodaļā aprakstītajiem paņēmieniem vispirms IMS DPSLN tika aprobēta vienkāršu uzdevumu pārbaudē (promocijas darba 1.5. att.).

Atbilstoši sistēmas darbības algoritmam pirms zināšanu pārbaudes tiek aktivizēta *CAD/CAM* sistēma (programma) *GRAFIS*, izveido uzdevuma nosaukumu. Kad sistēma darbojas režīmā, kur tiek pievienotas funkcijas (to uzskaitījums), tad ir aktīvas izvēlnes sistēmas darba beigšanai (aizvērt), lietojumprogrammatūras izvēlei, funkciju izdzēšanai no saraksta, darba īslaicīgai pārtraukšanai, paveiktā saglabāšanai.

Apmācāmajam, sākot darbu sistēmā, vispirms nepieciešams reģistrēties, tad izvēlēties veicamo uzdevumu. Tad sistēma piedāvā sākt uzdevuma izpildi. Līdzīgi kā eksperta darbību laikā, visas realizētās funkcijas tiek uzskaitītas, fiksēts to laiks, daudzums un lietojuma biežums. Apmācāmajam uzdevuma izpildei pieejams attēls ar gala rezultātu, kādam jāizskatās rasējumam, par tā līnijām, dalījumiem, palīglīnijām un gabarītiem. Šeit sistēmas pārbaudei lietots uzdevums – kvadrāts ar diagonālām un perpendikulārām dalījuma līnijām. Ja apmācāmais iesniedz darbu, ko viņš nav pabeidzis, sistēma sniedz informāciju, paziņojot, ka uzdevums nav izpildīts un nav derīgs pārbaudei. Ja zināšanu novērtēšanas aģents, analizējot darbību sekošanas aģenta datubāzē ierakstīto informāciju par apmācāmā darbībām, atrod atšķirības no eksperta veikuma, tas dod izvērtējumu un ieraksta par to informāciju datubāzē. Saskarnes aģents šo koriģējošo informāciju paziņo apmācāmajam. Atšķirību analīze notiek pēc divu darbību izvērtēšanas, piemēram, ja apmācāmais nezīmē četrstūri ar atbilstošu funkciju, bet rasē to pa līnijai, aģents izvērtē līniju savstarpējo novietojumu.

Kad apmācāmais ir pabeidzis un iesniedzis uzdevumu, viņam tiek dota atgriezeniskā saite – patērētais laiks, atvēlētais laiks, eksperta dotais papildlaiks, darbību skaita un izpildes laika svarīguma koeficients (aprakstīti promocijas darba 3. nodaļā), atzīme un papildu informācija par paveikto, kas atkarīga no iegūtās atzīmes. Ja students izvēlas darbu ar sistēmu turpināt, tad viņam tiek dota koriģējošā atgriezeniskā saite – iespēja pildīt papildu uzdevumu zināšanu atkārtotai pārbaudei. Ja studenta vērtējums bijis nepietiekams, tiek ieteikts vienkāršāks uzdevums, ja sasniegts labs rezultāts, tiek piedāvāts sarežģītāks uzdevums. Tādējādi students gūst papildu pieredzi darbā ar *CAD/CAM* sistēmām.

Apmācāmā sadarbībā ar IMS DPSLN var identificēt trīs lietošanas gadījumus: autorizācija, reģistrācija, zināšanu pārbaude. Lietošanas gadījumu diagrammā (4.2. att.) parādīti visi trīs lietošanas gadījumi. Darbība “Atgriezeniskā saite” dota atšķirīgā noformējumā, jo kompetenču pārbaudes gadījumā tā tiek dota ierobežoti.



4.2. att. Lietošanas gadījumu diagramma.

Ekspertu sadarbībā ar IMS DPSLN identificējami līdzīgi lietošanas gadījumi – vien zināšanu pārbaude aizstājama ar uzdevumu izveidi un apmācāmā veikuma pārbaudi.

Studenti (kā jau minēts, 46 RTU Dizaina tehnoloģiju institūta studenti) izpildīja uzdevumu. Reģistrētās lietotāju darbības uzskaitītas, reģistrēts laiks katras funkcijas lietojumam, summēts patērētais laiks visa uzdevuma izpildei. Visiem 46 studentiem tika izsniegts uzdevums “Četrstūris”. Eksperts uzdevumu izpildīja deviņās minūtēs, lietojot sešas funkcijas kopskaitā 34 reizes (34 darbības). Studentu darba izpildes laiks variē no 10 līdz 45 minūtēm, funkcijas 6–11, darbības 35–53.

Atzīmes aprēķinam (formulas dotas 3.1.5. nodaļā) izmantota formula ar vienādiem atzīmes daļu svarīguma koeficientiem: K_1 – darbību skaita svarīguma koeficients, $K_1 = 0,5$, un K_2 – izpildes laika svarīguma koeficients, $K_2 = 0,5$, tādējādi līdzsvarojot laika un darbību skaita nozīmību uzdevuma izpildē [46]. Nereti sarunās ar darba devējiem noskaidrojas, ka svarīgākais darbā ar CAD/CAM sistēmām ir darba izpildes ātrums (ko var veicināt ar pareizu darbību izpildi, tomēr labas zināšanas par CAD/CAM sistēmu un tās funkcijām ne vienmēr dod spēju (kompetenci) rasēt ātri un precīzi). Tādēļ tabulā dota arī atzīme, ja laiks tiek uzskatīts par svarīgāko izpildes rādītāju, tad K_2 – izpildes laika svarīguma koeficients, $K_2 = 0,8$, attiecīgi K_1 – darbību skaita svarīguma koeficients, $K_1 = 0,2$.

Analizējot aprobācijā iegūtos rezultātus, redzams, ka vairāk nekā pusei apmācāmo izpildes laiks pārsniedz eksperta veikumu pat vairāk nekā divas un pat trīs un četras reizes, tomēr, ņemot vērā darbību skaitu, redzams, ka daļa studentu ir pildījuši uzdevumu racionāli, bet lēnām. Izpildes ātruma ietekmi uz atzīmi var regulēt ar K_1 un K_2 koeficientiem. Promocijas darba tabulā 4.1. redzams, ka, palielinot laika nozīmīgumu līdz koeficientam 0,8, tie studenti, kuru izpildes laiks bijis ļoti ilgs, iegūst par vienu balli sliktāku atzīmi. Šāds samazinājums var šķist neliels, tomēr darba autora un kolēģu pieredze rāda, ka arī klātienēs novērtējumu pazemināt par vairāk nekā vienu atzīmi nešķiet atbilstoši, ja students darbu ir

paveicis un iesniedzis. Aprobācijas rezultāti liecina par vienu no sistēmas ieguvumiem – caurskatot darbību sekošanas aģenta apkopoto informāciju (atgriezenisko saiti), redzams, kuras funkcijas ir aizņēmušas vairāk laika, kur darbā bijušas lielākas pauzes, kas var liecināt par samulsumu, un citus rezultātus, kas ļauj mācībspēkam akcentēt tieši tās problēmfunkcijas, kas sagādā vairāk grūtību. Tāpat aģenta apkopotā informācija ļauj analizēt datus pēc funkciju izmantošanas biežuma, atkārtojumiem un funkcijas “dzēst” izmantošanas biežuma.

Kā zināms, katru rasējumu var izveidot, lietojot dažādas grafisko vienumu kopas, tajā pašā laikā lieki radītos grafiskos vienumus sistēma ļauj dzēst, kas uzskatāms par trūkumu lietotāja/apmācāmā darbībās (ja vien dzēšana nav neizbēgama darbība, kas nepieciešama kāda atdalīta līnijas posma nodzēšanai). Šādu darbību uzskaitē, to laikietilpības apzināšana un analīze ļauj panākt augstākus apmācību rezultātus.

Mutiskās intervijās studenti atzina, ka neuzskata zināšanu pārbaudes sistēmu par traucējošu vai tādu, kas ietekmē viņu darbu. Vairākums atzina, ka nav pievērsuši uzmanību sistēmas darbībai vispār, jo uzdevumu izpilde *CAD/CAM* sistēmā jau pats par sevi lielā mērā ir izaicinošs un grūts darbs. Daži studenti atzina, ka ikonu pārvietošanu ekrāna piemērošanai individuālajām vajadzībām neuzskata par lietderīgu, savukārt citiem tieši šis aspekts šķita ļoti svarīgs. Visi studenti apliecināja, ka tieši atgriezeniskā saite ir uzskatāma par *IMS DPSLN* lielāko priekšrocību. Tūlītējā atzīme un informācija par paveikto ļauj gūt rezultātu paveiktajam un veicina motivāciju. Arī tie studenti, kuru darbs novērtēts ar zemāku atzīmi nekā vidējā, atzina, ka atgriezeniskā saite bijusi motivējoša. Vairākums studentu atzina, ka tas, ka darbu novērtē sistēma nevis mācībspēks, uzskatāms drīzāk par priekšrocību un sistēmas pārākumu salīdzinot ar reāla skolotāja vērtējumu.

4.3. IMS DPSLN aprobācija uzņēmumos

CAD/CAM sistēmu lietošana uzņēmumā no studentu apmācības atšķiras ar lietotāju zināšanu līmeni un, visbiežāk, pārliecību par tām. Ražošanā strādājošs speciālists ir pārliecināts par savām prasmēm un kompetenci lietot sistēmu atbilstoši tās mērķim, izpildot projektēšanas uzdevumus [3]. Taču nereti izrādās, ka ražošanas speciālists lieto neracionālus darba paņēmienus, izvēloties īstenot projektēšanas uzdevumus ar sev pazīstamām sistēmas funkcijām (rīkiem), neiespringstot par darba organizācijas uzlabošanu vai jaunu paņēmienu apgūšanu. Tā var izrādīties problēma ražošanas vadītājam – var būt grūti sasniegt definētos ražības mērķus, kas balstīti citu uzņēmumu pieredzē; uzņēmuma darbiniekiem var būt grūtības strādāt ar *CAD/CAM* sistēmu datnēm, kas saņemtas no sadarbības partneriem un īstenotas ar citiem darba paņēmieniem.

Apģērba projektēšanas uzņēmuma darbinieku zināšanu pārbaudei darbā ar *CAD/CAM* sistēmām *IMS DPSLN* tika integrēts uzdevums brunču bāzes konstrukcijas izveidei. Šāds uzdevums savā būtībā, darbu secībā un veicamo darbību dekompozīcijā ir daudz sarežģītāks nekā vienkāršu funkciju pārbaudes uzdevums (kā tika izmantots studentu zināšanu pārbaudei). Uzdevuma sarežģītība ir tajā apstākļi, ka katrs izpildītājs rasējumu var iegūt atšķirīgi – lietojot dažādas metodes un paņēmienus.

Eksperta izveidotais uzdevuma modelis brunču bāzes konstrukcijas izveidei tika ievietots apgērbu ražošanas uzņēmuma darbinieku zināšanu pārbaudei (zināšanas tika pārbaudītas uzņēmuma konstruktoriem, kopā 16 darbiniekiem). Eksperta laiks visa rasējuma izveidei – 16 minūtes, veiktas 22 darbības, izmantotas septiņas komandas.

Šajā aprobācijā atzīmes vērtējums ne tikai nebija svarīgs, bet arī bija neatbilstošs paveiktajam – katrs darbinieks konstrukciju veidoja ar citiem paņēmieniem, rasēja to ar atšķirīgām metodēm, lietoja dažādas funkcijas un izmantoja atšķirīgu operāciju dekompozīciju.

IMS DPSLN nebija iespējams dot vērtējumu par paveikto, kā arī uzņēmuma darbinieku apmācības gadījumā (kad tiek mācīti cilvēki ar pieredzi *CAD/CAM* sistēmu lietojumā – tālād ekspertu) tas nemaz nebija vajadzīgs. Galvenais ieguvums IMS DPSLN izmantošanai bija darbību izsekošana un precīza laika noteikšana konstrukcijas soļu paveikšanai.

Pārbaudot darbinieku zināšanas darbā ar *CAD/CAM* sistēmām, īpaši noderīgs izrādījās funkciju uzskaitījums, kas ļāva gūt iespaidu par konkrētu operāciju izpildes atbilstību sistēmā integrēto rīku mērķim un uzdevumam. Sarežģītos rasējumos ne vienmēr mazāks izmantoto funkciju skaits nozīmē labāku *CAD/CAM* sistēmas lietojumu. Nereti darbinieks, izmantojot sev zināmos rīkus, paveic arī tādus darbus, kam sistēmā pieejamas racionālākas funkcijas. Piemēram, aprobācijas laikā tika konstatēts, ka divu lekālu salīmēšanas funkcija (*merge*) dažu darbinieku izpildījumā tiek aizvietota ar četrām citām funkcijām (*marry-attach-split-extract piece*). Šādas darbības aizņem daudz laika, turklāt rezultāta (izgūtā lekāla) precizitāte ir apšaubāma.

SECINĀJUMI UN REZULTĀTI

Promocijas darbā izvirzītais mērķis: izstrādāt intelektuālu mācību sistēmu (IMS), kas īsteno CAD/CAM sistēmu lietojuma novērtēšanu, seko apmācāmā darbībām (un analizē tās) datorizētās projektēšanas sistēmu (CAD) lietojuma laikā, kā arī veikt izstrādātās sistēmas prototipa testēšanu un darbības pārbaudi, tika sasniegts, realizējot virkni **uzdevumu**.

- Apzināti un analizēti apmācības procesi un aplūkoti to aspekti un zināšanu pārbaudes veidi, kas ļāva definēt vispārīgas prasības apmācību un zināšanu vērtēšanas procesam un identificēt problēmas tradicionālam zināšanu vērtēšanas procesam CAD/CAM sistēmu lietojumā.
- Izpētīts IMS izstrādes process, struktūra un metodoloģija (tradicionāli lietotie moduļi, aģentu pieeja), kas identificēja nepieciešamās sistēmas komponentes, koncepcijas (kas atšķirīga no tradicionālās ar lietotāja darbību izsekošanu soli pa solim) un lietojamās paradigmas, kā arī precizēja sistēmai izvirzāmās prasības.
- Izanalizētas intelektuālu aģentu sistēmas ar mērķi identificēt šādu sistēmu priekšrocības IMS izstrādē, izstrādāta jaunas IMS struktūra zināšanu novērtēšanai, lai realizētu uz teorētiski izpētītām atziņām balstītu sistēmu zināšanu novērtēšanai CAD/CAM sistēmu lietojumā.
- Izstrādāta intelektuālos aģentos sakņota zināšanu novērtēšanas sistēmas koncepcija, kas balstīta pētījuma rezultātos un atziņās.
- Realizēts izstrādātajā koncepcijā balstīts IMS prototips, kas īsteno CAD/CAM lietošanas procesa novērtējumu.
- Eksperimentāli pārbaudīts izstrādātās IMS prototips mācību laboratorijā Rīgas Tehniskajā universitātē un CAD/CAM sistēmas *Polytropon Automation Systems* uzņēmumā Grieķijā.

Pētījumu rezultātā tika identificētas **problēmas**, kas skar apmācības un zināšanu vērtēšanas intelektuālu mācību sistēmu izstrādi.

- Nav intelektuālu mācību sistēmu atbalsta CAD/CAM sistēmu lietojuma novērtēšanai. Mācībspēks redz tikai ieejas datus (uzdevumu) un izejas datus (apmācāmā paveikto), bet, vai apmācāmais ir veicis uzdevumu pats, laikus un ar lietderīgiem paņēmieniem, paliek neskaidrs. Turklāt apmācāmā lomā var būt arī jau reāli ražošanā strādājošs persona, kur industriālās izstrādes darba laika uzskaitē un patērētā laika samazināšana ir ļoti svarīgs un resursietilpīgs uzdevums.
- Nepietiekams apmācāmo atbalsts padarītā darba vērtēšanai un izprašanai (trūkst atgriezeniskās saites CAD/CAM apguves procesā):
 - tipiski apmācāmajam tiek piedāvāts sagatavotais uzdevums/projekts izpildei bez papildu zināšanām par izpildes secību un funkciju lietderīgumu;
 - galarezultāta vērtējums sastāv no eksperta izvērtētā gatavā rezultāta, bet process un procedūrās zināšanas netiek novērtētas vispār.

Risinot minētās problēmas, promocijas darbā ir sasniegti šādi galvenie jaunie **teorētiskie rezultāti**:

- izstrādāts algoritms, kas ļauj novērtēt apmācāmā darbu ar *CAD/CAM* sistēmām, balstoties patērētājā laikā, lietoto funkciju skaita un biežuma analīzē, lietoto funkciju lietderīgumā un salīdzinot apmācāmā veikumu ar eksperta izveidoto risinājuma paraugu – kompetenču vērtēšanas metode, demonstrējot mākslīgā intelekta metožu lietojumu reālu praktisku problēmu risinājumā *CAD/CAM* sistēmu lietojuma novērtēšanai;
- izstrādāta principiāli jaunas, aģentos sakņotas IMS koncepcija, struktūra un arhitektūra apmācāmo zināšanu novērtēšanai *CAD/CAM* sistēmu lietojumā ar uzdevuma izpildes gaitas novērtējumu;
- aprakstīti *CAD/CAM* sistēmu apmācības procesi un pedagoģiskā pieeja, esošās pieejas un zināšanu pārbaudes nodrošinājums;
- izstrādāti uzdevumu paraugi, ģenerēti izveidotajā IMS ar atvērtu iespēju ģenerēt sistēmā vēl citus uzdevumus, ko eksperts uzskatītu par nepieciešamiem;
- izstrādāta aprobācija ar atgriezenisko saiti (zināšanu korekciju) un detalizētu informāciju par apmācāmo zināšanām *CAD/CAM* lietojumā.

Iegūtie teorētiskie rezultāti **praktiski ir realizēti**:

- darbā izstrādāts intelektuālās mācību sistēmas prototips apmācāmā zināšanu identificēšanai un novērtēšanai *CAD/CAM* sistēmu lietojumā, mācību procesa un ražošanas procesu uzlabošanai;
- realizētais prototips ļauj pilnveidot zināšanas darbā ar *CAD/CAM* sistēmām, konstatēt apmācāmā zināšanu trūkumus, analizēt un pilnveidot darba paņēmienus; sistēma izmantojama dažādu *CAD/CAM* sistēmu apgūvē un lietošanas procesā.

Prototipu izstrāde un eksperimentālās pārbaudes rezultāti ļauj izdarīt vairākus **secinājumus**.

- Izstrādātā IMS DPSLN ļauj nodrošināt trūkstošo saiti starp apmācāmo un ekspertu grafisko izstrādņu īstenošanas novērtējumam, mācību atbalstam un atgriezeniskās saites nodrošinājumam.
- Iespēja ģenerēt jaunus uzdevumus zināšanu pārbaudei un novērtēšanai, kā arī saglabāt esošos, jau izmantotos uzdevumus dažādu *CAD/CAM* sistēmu lietojumam, ļauj ekspertam pakāpeniski veikt apmācāmā iepazīstināšanu ar *CAD/CAM* sistēmas lietojumu, veikt uzdevuma pielāgošanu apmācāmā zināšanu līmenim ar atgriezeniskās saites palīdzību.
- Izstrādātās IMS rezultātu analīze ļauj identificēt apmācāmā zināšanu trūkumus, balstoties apmācāmā uzdevuma izpildē, lietoto funkciju/rīku uzskaitījumā un salīdzinājumā ar eksperta paveikto.

Darba rezultāti ļauj **apstiprināt** aizstāvēšanai izvirzītās **tēzes**. Izstrādātās IMS DPSLN aprobācija ļauj secināt, ka sistēma seko lietotāja darbībām *CAD/CAM* sistēmā, IMS iekļautie aģenti uzkrāj informāciju par izmaiņām sistēmā (vidē), analizē to un sniedz informāciju par esošajām lietotāja kompetencēm un zināšanu līmeni. Atgriezeniskā saite dod korekcijas, kas

nepieciešamas zināšanu pilnveidošanai, tādējādi veicinot interesi par *CAD/CAM* apguvi. IMS DPSLN integrētie zināšanu novērtējuma algoritmi dod objektīvu vērtējumu katram apmācāmajam.

Turpmāko **pētījumu virzieni**:

- IMS DPSLN darbību sekošanas aģents apmācās no tajā integrēto funkciju uzskaitījuma, attīstot pētījumu, ir iespēja integrēt algoritmu, kas ļauj aprēķināt *CAD/CAM* sistēmās lietoto funkciju (rīku) izmantošanas biežumu un lietderīgumu. Atzīmes aprēķinu šāda informācija ļautu papildināt ar funkciju lietderīguma koeficienta izmantošanu;
- aprobējot sistēmu, analizēt dažādu mājienu un padomu ģenerēšanu sistēmā uzdevuma izpildes laikā.

BIBLIOGRĀFIJA

- [1] **Narayan, K. L.** *Computer Aided Design and Manufacturing*. New Delhi: Prentice Hall of India, 2008. 698 p. ISBN 978-81-203-3342-0.
- [2] **Madsen, David A.** *Engineering Drawing and Design*. Clifton Park, NY, USA: Delmar, 2012. 253 p. ISBN 10 1111309574, ISBN 13 9781111309572.
- [3] **Asperl, A.** How to teach CAD. **In:** *Computer-Aided Design and Applications*. Vol. 2, Issue 1–4. Taylor & Francis, 2005, pp. 459–468. Available from: doi:10.1080/16864360.2005.10738395.
- [4] **Ye, X.** Today's students, tomorrow's engineers: an industrial perspective on CAD education. **In:** N.S. Sapidis and M. S. Kim, eds. *Computer-Aided Design*. Volume 36, Issue 14. Elsevier Ltd., 2004, pp. 1451–1460. Available from: doi:10.1016/j.cad.2003.11.006.
- [5] **Farin, G., Hoschek, J., Kim, M.-S.** *A History of Curves and Surfaces in CAGD*. Handbook of Computer Aided Geometric Design. Netherlands: Elsevier Science, 2002. 797 p. ISBN 0-444-51104-0.
- [6] **Chennakesava, R. Alavala.** *CAD/CAM: Concepts and Applications*. PHI Learning Pvt. Ltd., 2009. 564 p. ISBN 978-81-203-3340-6.
- [7] **Choi, T.-M.**, ed. *Information Systems for the Fashion and Apparel Industry*. 1st Edition. Elsevier Ltd., 2016. 306 p. ISBN 978-0-08-100571-2.
- [8] **Peliņins, A.** *Automatizētā projektēšana Auto CAD vidē*. Latvija, Rīga: Jumava, 1999. 157 lpp. ISBN 10 9984052788.
- [9] **Жарков, Н., Финков, М., Прокди, Р.** *AutoCAD 2017. Полное руководство*. Наука и Техника, 2017. 624 с. ISBN 978-5-94387-734-6.
- [10] **Полещук, Н.** *Самоучитель AutoCAD 2015*. БХВ-Петербург, 2015. 464 с. ISBN 978-5-9775-3512-0.
- [11] **Shih, H. R.** *Autocad 2016 For Beginners*. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015. 300 p. ISBN 9781511684460.
- [12] **Dix, M., Riley, P.** *Discovering AutoCAD 2015*. Peachpit Press, 2014. 696 p. ISBN 9780134271002.
- [13] **Stott, M.** *Digital Pattern Cutting Workbook 1: A Step-by-Step Guide to Lectra Modaris*. Digital Pattern Cutting Publishing, 2016. 144 p. ISBN 10 1526203820.
- [14] **Stott, M.** *Pattern Cutting for Clothing Using CAD: How to Use Lectra Modaris Pattern Cutting Software*. 1st Edition. dhead Publishing, 2012. 176 p. ISBN 9780857092311.
- [15] **Lininger, M.** *Patternmaking and Grading Using Gerber's Accumark Pattern Design Software*. Pearson, 2015. 800 p. ISBN-10 0133514366.
- [16] *CAD_learning* [online]. [viewed 17 August 2017] Available from: <https://www.cadlearning.com/downloads#plugin>.
- [17] *Lynda* [online]. [viewed 17 August 2017] Available from: <https://www.lynda.com/AutoCAD-training-tutorials/160-0.html>.
- [18] *Lectra* [online]. [viewed 17 August 2017] Available from:

- <https://www.lectra.com/en/education;>
[https://www.youtube.com/user/LectraTechChannel.](https://www.youtube.com/user/LectraTechChannel)
- [19] *AutoCad* [online]. [viewed 17 August 2017] Available from:
[https://www.youtube.com/user/AutoCADExchange.](https://www.youtube.com/user/AutoCADExchange)
- [20] *3DMax* [online]. [viewed 17 August 2017] Available from:
[https://www.youtube.com/user/3dsMaxHowTos.](https://www.youtube.com/user/3dsMaxHowTos)
- [21] **Friedrich, K., Friedrich, I.** *Grafis. Textbook for beginners*. Ed. 10-98. 1997. 397 p.
- [22] **Grundspenkis, J.** *Trends in Technology Based Learning: Towards Truly Intelligent Tutoring Systems*. Riga: IST4BALT, 2007. Available from:
[http://www.balticit.com/ist4balt/programme2007.php.](http://www.balticit.com/ist4balt/programme2007.php)
- [23] **Lavendelis, E.** *Atvērta daudzāģentu arhitektūra un metodoloģija intelektuālu mācību sistēmu izstrādei*. Promocijas darbs. Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 2009, 222 lpp.
- [24] **Kendall, E. A., Malkoun, M. T., Jiang, C. H.** A Methodology for Developing Agent Based Systems for Enterprise Integration. **In:** Bernus P., Nemes L., eds. *Modelling and Methodologies for Enterprise Integration. IFIP – The International Federation for Information Processing*. Springer, Boston, MA, 1995, pp. 333–344. ISBN 978-1-4757-5862-7. Available from: doi:10.1007/978-0-387-34983-1_22.
- [25] **Bergenti, F., Huhns, M. N.** On the Use of Agents as Components of Software Systems. **In:** Bergenti F., Gleizes MP., Zambonelli F., eds. *Methodologies and Software Engineering for Agent Systems. Multiagent Systems, Artificial Societies, and Simulated Organizations (International Book Series)*. Vol 11. Springer, Boston, MA, 2004, pp. 19–31. ISBN 978-1-4020-8057-9. Available from: doi:10.1007/1-4020-8058-1_3.
- [26] **DeLoach, S. A.** Analysis and Design Using MaSE and agentTool. **In:** *Proceedings of the 12th Midwest Artificial Intelligence and Cognitive Science Conference (MAICS 2001)*. Oxford OH: Miami University, 2001, pp. 1–7.
- [27] **Vlassis, N.** A Concise Introduction to Multiagent Systems and Distributed Artificial Intelligence. **In:** Branchman, Ronald J., Dietterich, T., eds. *A publication in the Morgan & Claypool Publishers series. Synthesis lectures on artificial intelligence and machine learning sequence in series #2*. Morgan&Claypool Publishers, 2007, 71 p. ISBN 1-59829-526-8. Available from: doi:10.2200/S00091ED1V01Y200705AIM002.
- [28] **Russell, S., Norvig, P.** *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 3rd Edition. Prentice-Hall, 2009. 1152 p. ISBN0136042597.
- [29] **Anohina, A.** *Adaptīvas apmācības un zināšanu vērtēšanas intelektuāla atbalsta sistēmas izstrādāšana*. Promocijas darbs. Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 2007, 245 lpp.
- [30] **Grundspenkis, J., Anohina, A.** Agents in Intelligent Tutoring Systems: State of the Art. **In:** *Scientific Proceedings of Riga Technical University, 5th Series, Computer Science, Applied Computer Systems*. Volume 22. Riga: RTU Publishing, 2005, pp. 110–121.
- [31] **Gouli, E., Gogoulou, A., Tsakostas, C. and Grigoriadou, M.** How COMPASS supports multi-feedback forms & components adapted to learner's characteristics. **In:** A. Cañas and J. Novak, eds. *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology, Proceedings of the Second International Conference on Concept Mapping*. San José, Costa Rica, Vol. 1, 2006, pp. 255–262.

- [32] **Grundspenķis, J.** *Usage Experience and Student Feedback Driven Extension of Functionality of Concept Map Based Intelligent Knowledge Assessment System In Communication & Cognition.* Vol. 43. 2010, pp. 1–20.
- [33] **Jones, N., Georghiades, P., Gunson, J.** Student feedback via screen capture digital video: stimulating student's modified action. In: *Journal Article Higher Education.* Vol. 64, No. 5. Springer, 2012, pp. 593–607.
- [34] **Gong, Y., Beck, J. E., Ruiz, C.** Modeling Multiple Distributions of Student Performances to Improve Predictive Accuracy. **In:** Masthoff J., Mobasher B., Desmarais M.C., Nkambou R., eds. *User Modeling, Adaptation, and Personalization. UMAP 2012. Lecture Notes in Computer Science.* Vol. 7379. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, pp. 102–113. ISBN 978-3-642-31453-7. Available from: doi:10.1007/978-3-642-31454-4_9.
- [35] **Kort, B., Reilly, R., Picard, R.W.** An Affective Model of Interplay Between Emotions and Learning: Reengineering Educational Pedagogy–Building a Learning Companion. **In:** *Proceedings IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies.* Madison, WI, USA: IEEE, 2001, pp. 43–46. ISBN 0-7695-1013-2. Available from: doi:10.1109/ICALT.2001.943850.
- [36] **Lorenz, A.** Agent-Based Ubiquitous User Modeling. **In:** Ardissono L., Brna P., Mitrovic A., eds. *User Modeling 2005. UM 2005. Lecture Notes in Computer Science.* Vol. 3538. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005, pp. 512–514. ISBN 978-3-540-27885-6. Available from: doi:10.1007/11527886_73.
- [37] **Limongelli, C., Sciarrone, F., Vaste, G.** LS-Plan: An Effective Combination of Dynamic Courseware Generation and Learning Styles in Web-Based Education. **In:** Nejdl W., Kay J., Pu P., Herder E., eds. *Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems. AH 2008. Lecture Notes in Computer Science.* Vol. 5149. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, pp. 133–142. ISBN 978-3-540-70984-8. Available from: doi:10.1007/978-3-540-70987-9_16.
- [38] **Brookhart, S. M.** Teacher Feedback in Formative Classroom Assessment. **In:** Webber C., Lupart J., eds. *Leading Student Assessment. Studies in Educational Leadership.* Vol. 15. Springer, Dordrecht, 2011, pp. 225–239. ISBN 978-94-007-1726-8. Available from: doi:10.1007/978-94-007-1727-5_11.
- [39] **Medina-Medina, N., Molina-Ortiz, F., García-Cabrera, L., Parets-Llorca, J.** Personalized Guided Routes in an Adaptive Evolutionary Hypermedia System. **In:** Moreno-Díaz R., Pichler F., eds. *Computer Aided Systems Theory – EUROCAST 2003. Lecture Notes in Computer Science.* Vol. 2809. Springer, Berlin, Heidelberg, 2003, pp. 196–207. ISBN 978-3-540-20221-9. Available from: doi:10.1007/978-3-540-45210-2_19.
- [40] *Diskusija (2017) Tīmekļsemināra diskusija ar CAD/CAM sistēmas Polytropon Pārdošanas vadītāju Rīza Temel www.polytropon.com un CAD/CAM sistēmu izplatīšanas uzņēmuma ekspertu Udo Saul www.amigtex.com, 2017. gada 25. augusts.*

- [41] *Intervija (2017)* Saruna ar CAD/CAM sistēmas Lectra pārstāvjiem Arnoldas Braškys (pārdošanas nodaļas vadītājs Baltijas valstīs) un An Vandenberk (mārketinga speciāliste Ziemeļeiropā), 2017. gada 12. marts.
- [42] **Dāboliņš, J., Grundspenķis, J.** Intelligent Tutoring System for Learning Graphics in CAD/CAM. **In:** Ērepa V., Bruckner T., eds. *Perspectives in Business Informatics Research. BIR 2016. Lecture Notes in Business Information Processing*. Vol. 261. Springer, Cham, 2016, pp. 39–246. ISBN 978-3-319-45320-0. e-ISBN 978-3-319-45321-7. ISSN 1865-1348. Available from: doi:10.1007/978-3-319-45321-7_17.
- [43] **Dāboliņš, J., Grundspenķis, J.** Intelligent Knowledge Assessment for CAD/CAM Systems. **In:** Medvids, A., ed. *Advanced Materials Research*. Vol. 1117. 2015, pp. 287–290. ISSN 1662-8985. Available from: doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1117.287.
- [44] *LVS 98:1996* – Informācijas tehnoloģija. Programminženierija. Programmatūras prasību specifikācijas ceļvedis.
- [45] *ISO/IEC/IEEE 29148-2011* – International Standard, Systems and software engineering, Life cycle processes, Requirements engineering. ISBN 978-0-7381-6591-2.
- [46] **Dāboliņš, J., Grundspenķis, J.** Intelligent Tutoring System for Learning Graphics in CAD/CAM. **In:** Ērepa V., Bruckner T., eds. *Perspectives in Business Informatics Research. BIR 2016. Lecture Notes in Business Information Processing*. Vol. 261. Springer, Cham, 2016, pp. 239–246. ISBN 978-3-319-45320-0. e-ISBN 978-3-319-45321-7. ISSN 1865-1348. e-ISSN 1865-1356. Available from: doi:10.1007/978-3-319-45321-7_17.