

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

**Tatjana RIKURE**

**UZ PSIHOFIZIOLOĢISKĀ STĀVOKĻA MODEĻA BALSTĪTO  
ADAPTĪVO APMĀCĪBAS SISTĒMU IZSTRĀDĀŠANA**

**Promocijas darba kopsavilkums**

**Rīga 2009**

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**  
Datorzinātnes un Informācijas Tehnoloģijas fakultāte  
Lietišķo Datorsistēmu institūts

**Tatjana RIKURE**  
Datorsistēmu doktora programmas doktorante

**UZ PSIHOFIZIOLOĢISKĀ STĀVOKĻA MODEĻA BALSTĪTO  
ADAPTĪVO APMĀCĪBAS SISTĒMU IZSTRĀDĀŠANA**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskais vadītājs  
Dr. habil. sc. ing., Profesors  
**L.NOVICKIS**

**Rīga 2009**

Rikure T. Uz psihofizioloģiskā stāvokļa modeļa balstīto adaptīvo apmācības sistēmu izstrādāšana. Promocijas darba kopsavilkums.- R.:RTU,2009.-49 lpp.

Iespiests saskaņā ar DITF LDI padomes 2009.gada 15. jūnija lēmumu, protokols Nr. 64

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

**ISBN 978-9984-32-101-1**

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

Promocijas darbs inženierzinātņu (datorsistēmu) doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2009.g. 12. oktobrī, 14-30 Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātē, Meža ielā 1/3 202. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, Dr.habil.sc.ing. Jānis Grundspenķis  
Rīgas Tehniskā universitāte

Profesors, Dr.sc.ing. Egils Ginters  
Vidzemes augstskola, Latvija

Dr. rer. nat. Eberhard Blümel  
Fraunhofer institūts, Vācija

APSTIPRINĀJUMS

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

Tatjana Rikure .....(Paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, slēdzienu vai secinājumus, literatūras sarakstu, 5 pielikumus, 51 zīmējumus un ilustrācijas, 7 tabulas, kopā 157 lappuses. Literatūras sarakstā ir 277 nosaukumi.

## SATURS

1.	VISPĀRĪGS DARBA RAKSTUROJUMS.....	5
1.1.	Ievads un tēmas aktualitāte.....	5
1.2.	Darba mērķis un uzdevumi.....	6
1.3.	Zinātniskā novitāte un praktiskā nozīmība.....	6
1.4.	Darba struktūra .....	8
2.	PROMOCIJAS DARBA NODAĻU SATURS .....	8
2.1.	Datorizētas apmācības sistēmu uzbūves metožu analītisks apskats .....	8
2.2.	Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pētīšana.....	11
2.3.	Uz psihofizioloģiskā stāvokļa modeļa balstītu adaptīvo datorizēto apmācības sistēmu izstrādes metodes un algoritmi.....	15
2.3.1.	Apmācības sistēma ar duālo adaptāciju.....	15
2.3.2.	Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modelis .....	22
2.3.3.	Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldība .....	23
2.3.4.	Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldības moduļa autonomās realizācijas pieeja.....	25
2.3.5.	Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldības moduļa iegultās realizācijas pieeja.....	27
2.4.	Praktiskā realizācija un eksperimentālie pētījumi .....	30
2.4.1.	Moduļa prototips .....	30
2.4.2.	Eksperimentālie pētījumi.....	33
2.4.3.	Didaktiskās efektivitātes novērtēšanas eksperimenti .....	35
3.	PROMOCIJAS DARBA GALVENIE REZULTĀTI UN SECINĀJUMI .....	38
4.	DARBA APROBĀCIJA .....	41
4.1.	Publikācijas.....	41
4.2.	Uzstāšanās konferencēs .....	42
4.3.	Projekti .....	43
5.	LITERATŪRA.....	44

# 1. VISPĀRĪGS DARBA RAKSTUROJUMS

## 1.1. Ievads un tēmas aktualitāte

Dažādu zinātnes un tehnikas nozaru straujā attīstība ir veicinājusi apmācības nepieciešamību darbam ar jaunām ierīcēm un sistēmām. Pašlaik tiek uzskatīts, ka iegūtās zināšanas noveco 4-5 gadu laikā. Tādejādi visas dzīves garumā kļūst nepieciešams iegūt jaunas zināšanas, pārkvalificēties, apgūt jaunas specialitātes.

Pieeja milzīgiem informācijas resursiem Internetā un citu masu mādiņu dažāda veida informācijas plūsmas pieaugums izraisa pastāvīgu, liela informācijas apjoma apstrādes nepieciešamību. Par efektivitātes pamatkritēriju kļūst nepieciešamā laika patēriņa samazināšana saņemtās informācijas apstrādei. Atšķirībā no datora, cilvēka smadzenes normālā stāvoklī nav piemērotas milzīgu informācijas apjomu apstrādei un izsauc informacionālā stresa stāvokļa iestāšanos [54]. Tajā pašā laikā informācijas uztveres un apstrādes ātrums ievērojami palielinās, cilvēkam atrodoties aktīvā nomoda psihofizioloģiskajā stāvoklī. Tādejādi par aktuālāko izaicinājumu kļūst zināšanu iegūšanas procesa veicināšana, palielinot cilvēka spējas uztvert un apstrādāt ienākošo informācijas plūsmu.

Esošais datorizēto apmācību sistēmu klāsts ir visai plašs - gan individuālo, gan kolektīvo apmācību atbalstam. Ir zināms, ka mācību procesa individualizācija nodrošina ievērojamu apmācību efektivitātes paaugstinājumu. Īpaši atzīmējamas ir datorizētās apmācību sistēmas, kam piemīt adaptivitātes spējas piemēroties apmācāmā individuālajam raksturojumam. Esošo adaptīvo datorizēto apmācību sistēmu iespējas parasti iekļauj mācību materiāla piegādes secību, kā arī mācību materiāla satura vai detalizācijas līmeņa korekciju, saskaņā ar apmācāmā zināšanu līmeni vai citiem parametriem. Tajā pašā laikā apmācības efektivitāti ievērojami ietekmē arī apmācāmā emocionālais un fizioloģiskais stāvoklis. Tādēļ apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeļa iekļaušana adaptīvā, datorizētās apmācības sistēmā, ļaus noteikt un ievērot apmācībai ieteicamo apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli. Mācību laikā apmācāmā psihofizioloģiskais stāvoklis pastāvīgi mainās, tāpēc ir nepieciešams ne tikai novērot apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli mācību procesā, bet veikt arī šī stāvokļa pārvaldību, ar mērķi uzturēt apmācībai ieteicamo stāvokli.

Tādejādi jaunās paaudzes datorizētajām apmācību sistēmām jābūt spējīgām ievērot un kontrolēt apmācāmā fizioloģisko un emocionālo stāvokli. Šāda starpnozaru pieeja adaptīvo datorizēto apmācību sistēmu izstrādei ļaus ieviest kvalitatīvu cilvēka-datora mijiedarbību (*Human-Computer-Interaction*) augstākajā līmenī. Pateicoties informācijas tehnoloģiju

nozares jaunākajiem sasniegumiem, šajā darbā piedāvātās pieejas praktiskā realizācija ir tehnoloģiski īstenojama.

Pētījumu finansēšanu datorizētu apmācību sistēmu izstrādes nozarē veic valsts, Eiropas Komisija, kā arī vadošas starptautiskās organizācijas (*UNESCO* u.c.) [13, 14]. Pateicoties bagātīgām investīcijām, jauno, datorizēto apmācības sistēmu izveidošanā, pašlaik jau ir izstrādāts liels daudzums datorizētu apmācību sistēmu dažādās mācību disciplīnās un zināšanu nozarēs. Tādejādi pašreizējā situācijā īpaši aktuāls kļūst jau izstrādāto datorizēto apmācību sistēmu efektivitātes paaugstināšanas uzdevums. Atšķirībā no jaunu sistēmu izstrādes, esošo datorizēto apmācības sistēmu attīstības un pilnveidošanas pieeja ir pievilcīga arī no ekonomiskās efektivitātes viedokļa. Tātad pateicoties esošo datorizēto apmācību sistēmu efektivitātes paaugstināšanai, varēs paātrināt zināšanu apguvi un samazināt mācību procesa izdevumus.

## **1.2. Darba mērķis un uzdevumi**

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt uz apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeļa balstītu intelektuālo mācību sistēmu izstrādes modeļus, metodes un algoritmus, veikt to praktisko realizēšanu un eksperimentālo novērtēšanu.

Lai sasniegtu promocijas darba mērķi, ir jāatrisina sekojoši uzdevumi:

1. izanalizēt esošo adaptīvo datorizēto apmācības sistēmu uzbūves metodes;
2. izpētīt apmācāmā fizioloģiskā un emocionālā stāvokļa ietekmi uz apmācības efektivitāti, kā arī šo stāvokļu noteikšanas un pārvaldības metodes;
3. izstrādāt apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeli;
4. izstrādāt uz apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeļa balstītas metodes mācību procesa uzturēšanai;
5. veikt darbā piedāvāto modeļu un metožu praktisko realizāciju speciālajā moduļa veidā;
6. veikt darbā piedāvāto modeļu, metožu un algoritmu eksperimentālus pētījumus;
7. veikt darbā piedāvātās pieejas efektivitātes novērtēšanu.

## **1.3. Zinātniskā novitāte un praktiskā nozīmība**

Ir piedāvāta pieeja un izstrādātas tās realizācijas metodes datorizētas apmācības organizēšanai ar duālo adaptāciju, balstoties uz apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeli: pirmkārt, apmācāmā adaptāciju datorizētas apmācības sistēmas darbībai, proti, apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldību un uzturēšanu mācību informācijas uztverei ieteicamajā

stāvoklī mācību procesa laikā, otrkārt, datorizētas apmācības sistēmas adaptāciju apmācāmā uztveres individuālajām īpatnībām.

Piedāvātās pieejas ietvaros, promocijas darbā ir iegūti sekojošie rezultāti:

- ir izstrādāta datorizētās apmācības sistēmas ar duālo adaptāciju struktūras shēma;
- ir izstrādāts apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modelis, kā arī algoritmi šī modeļa praktiskai realizācijai;
- ir izstrādāta metode un algoritms apmācībai ieteicamā stāvokļa noteikšanai, balstoties uz psihofizioloģiskiem datiem;
- ir izstrādāta pieeja apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldībai datorizētās apmācību sistēmās, apmācībai ieteicamā stāvokļa sasniegšanai un uzturēšanai mācību procesa laikā;
- ir izstrādātas divas pieejas datorizētas apmācības sistēmas ar duālo adaptāciju uzbūvei:
  - 1) autonomā realizācija speciālā moduļa veidā, kas paplašina esošo datorizētas apmācības sistēmu iespējas bez pašas sistēmas pārbūves;
  - 2) moduļa iegultā realizācija jauno datorizētas apmācības sistēmu projektēšanai vai esošo datorizētas apmācības sistēmu pārbūvēšanai;
- ir izstrādātas metodes apmācāmā dominējošo uztveres kanālu un domāšanas tipa noteikšanai, balstoties uz izstrādāto apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeli un psihofizioloģiskiem datiem, kā arī to lietošanas iespējas moduļa iegultās realizācijas ietvaros;
- ir izstrādāts moduļa autonomās realizācijas prototips un ir veikta tā efektivitātes eksperimentālā novērtēšana.

### **Praktiskā nozīmība**

Promocijas darba praktiskā nozīmība ir piedāvātās pieejas, tajā skaitā modeļu, metožu, algoritmu un izstrādātā prototipa, lietošana esošo datorizētās apmācības sistēmu efektivitātes paaugstināšanai, kā arī jauno sistēmu izstrādei.

Izstrādātā prototipa praktiskā izmantošana svešvalodas un informātikas apmācībai parādīja mācību materiāla apgūšanas laika ievērojamu samazinājumu salīdzinājumā ar datorizēto apmācību bez izstrādātā prototipa lietošanas. Veikto didaktisko eksperimentu rezultāti apliecināja iespējamību ievērojami paaugstināt esošo datorizētās apmācības sistēmu efektivitāti. Tāpēc praktiskās izmantošanas pieredze ļauj rekomendēt piedāvātās pieejas datorizētai apmācībai (ar duālo adaptāciju) turpmāko attīstību, kā arī tās pielāgošanas iespēju izpēti citādām tehniskām apmācības sistēmām.



## **1.4. Darba struktūra**

Promocijas darbs sastāv no ievada, 4 nodaļām, secinājumiem, bibliogrāfijas un 4 pielikumiem.

Ievadā ir pamatota veikto pētījumu aktualitāte, formulēti pētījumu mērķi un to sasniegšanai izpildāmie uzdevumi, kā arī aprakstīta darba ietvaros iegūto rezultātu novitāte, praktiskā nozīmība un sniegta informācija par darba rezultātu aprobāciju.

Darba 1. nodaļā ir veikta esošo datorizēto apmācību sistēmu uzbūves metožu analīze ar mērķi identificēt esošās problēmas un atrast to risināšanas virzienu.

Darba 2. nodaļā ir veikts pētījums par cilvēka psihofizioloģiskā stāvokļa ietekmi uz apmācību efektivitāti, kā arī šī stāvokļa noteikšanas, pārvaldības metožu analīze un izvēle promocijas darba mērķa realizēšanai.

Darba 3. nodaļā ir aprakstīta promocijas darba ietvaros piedāvāto modeļu un metožu kopa adaptīvo datorizētās apmācību sistēmu izstrādei, kas balstīta uz apmācāmā psihofizioloģiskā modeļa.

Darba 4. nodaļā ir aprakstīta promocijas darba ietvaros izstrādātā prototipa realizācija, eksperimentālo pētījumu veikšanas gaita un iegūtie rezultāti.

Promocijas darba galvenie rezultāti un secinājumi ir apkopoti noslēguma nodaļā.

Darba pamattekstā ir 135 lappuses, 51 attēls un 7 tabulas. Bibliogrāfiskajā sarakstā ir 277 avoti.

## **2. PROMOCIJAS DARBA NODAĻU SATURS**

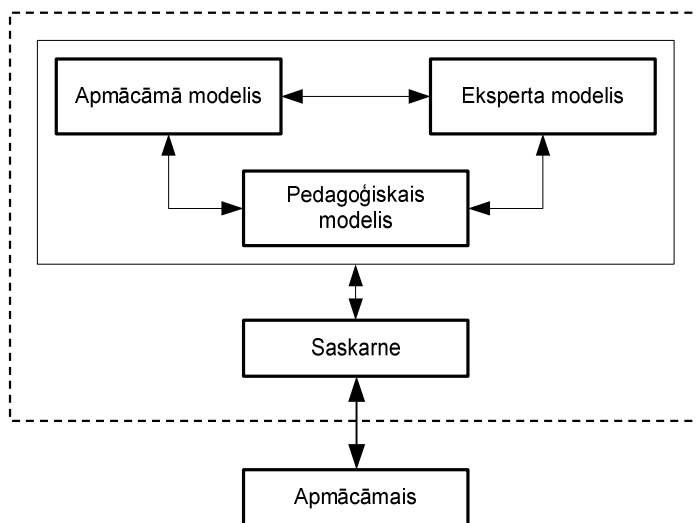
### **2.1. Datorizētas apmācības sistēmu uzbūves metožu analītisks apskats**

Pirmajā nodaļā ir veikta datorizētas apmācības sistēmu uzbūves metožu analīze ar mērķi noteikt virzienu turpmākajām pētījumiem par datorizētu apmācību sistēmu efektivitātes paaugstināšanu.

1.1. un 1.2. apakšnodaļās ir veikta esošo datorizēto apmācību sistēmu analīze, sākot ar īsu retrospektīvu ieskatu apmācību sistēmu pirmsākumos un beidzot ar moderno e-apmācības sistēmu priekšrocību un trūkumu identificēšanu. Datorizētu apmācību sistēmu efektivitātes paaugstināšana joprojām ir aktuāls pētījuma virziens, neskatoties uz šīs nozares ievērojamo attīstības vēsturi. Analīzes procesā tika atklāti datorizētu apmācību sistēmu nepietiekamas efektivitātes cēloņi, kurus vispārīgā līmenī var definēt šādi:

- nepietiekama adaptācija, atbilstoši apmācāmā individuālajam raksturojumam;
- apmācāmā pētniecisko spēju neiesaistīšana apmācību procesā;
- jaunu tehnoloģisko risinājumu nozīmības pārvērtēšana, neievērojot pedagoģisko bāzi.

Analīze tika veikta ar īpašu akcentu uz intelektuālo mācību sistēmu nozares attīstības iespēju identificēšanu, jo tā ir viena no lietīšķā mākslīgā intelekta pamatvirzieniem, un turpmākie pētījumi šajā nozarē šķiet ļoti perspektīvi [36].



2.1. att. Intelektuālās mācību sistēmas (*Intelligent Tutoring System*) kodola arhitektūra

Intelektuālo mācību sistēmu īpatnība ir apmācības norises korekcijas spēja, atbilstoši apmācāmā individuālajam raksturojumam, kas tiek glabāts apmācāmā modelī (2.1. att.). Apmācību procesa individualizācija vai adaptācija katram konkrētam apmācāmajam ļauj ievērojami paaugstināt datorizētu apmācības sistēmu efektivitāti.

1.3. apakšnodaļā ir veikta datorizētās apmācību sistēmās lietoto adaptācijas veidu analīze. Mūsdienīgo datorizēto apmācību sistēmu analīze parādīja, ka pārsvarā šo sistēmu adaptācija tiek realizēta atkarībā no apmācāmā zināšanu līmeņa – sākotnējā un mācību procesā progresējošā, kas tiek saglabāts apmācāmā modelī. Tomēr apmācāmā psihofizioloģiskie raksturojumi netiek ņemti vērā vai tiek ievēroti nepietiekošā apmērā. Tajā pašā laikā saskaņā ar pedagoģiju un klasisko psiholoģiju, apmācību plāna izvēle un piemērotākā apmācību režīma iestatīšana ir iespējama, tikai ievērojot apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli [6, 52]. Tādejādi apmācību procesā ir nepieciešams ievērot ne tikai apmācāmā vēlēšanos un prasības, bet arī viņa individuālo psihofizioloģisko raksturojumu.

Ar mērķi noteikt apmācāmo raksturojošās īpašības, kuras ir jā saglabā apmācāmā modelī, 1.4. apakšnodaļā ir veikta apmācāmā modelēšanas iespēju analīze ar īpašu uzsvāru uz apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeļa veidošanu (2.1. tabula).

2.1. tabula

Kopsavilkums par apmācāmā psihofizioloģiskā un emocionālā stāvokļa analīzes metodēm un attiecīgām datorizēto apmācību sistēmu reakcijām

Apmācāmā psihofizioloģiskā un/vai emocionālā stāvokļa noteikšanas un analīzes metodes	Sistēmu reakciju veidi uz apmācāmā psihofizioloģiskā un/vai emocionālā stāvokļa izmaiņām	Sistēmu piemēri
<ul style="list-style-type: none"> <li>• apmācāmā sejas izteiksme (mīmika) tiek uztverta ar digitālo videokameru un apstrādāta ar speciālo attēlu pazīšanas programmnodrošinājumu [11, 15, 19, 33];</li> <li>• apmācāmā žesti un ķermeņa kustības tiek uztverti ar digitālo videokameru (vai web-kameru) un analizēti ar speciālo attēlu pazīšanas programmnodrošinājumu [5, 16, 29, 44];</li> <li>• apmācāmā fizioloģiskie raksturojumi – pulss, arteriālais asinsspiediens, ādas galvaniskā reakcija, elpošanas parametri, ķermeņa temperatūra u.c. tiek reģistrēti ar speciāliem devējiem [25, 27, 28, 34, 45];</li> <li>• apmācāmā balss raksturojumi tiek uztverti ar mikrofonu un analizēti ar speciālo programmnodrošinājumu [21, 34, 41, 46];</li> <li>• <i>eye-tracking</i> tehnoloģijas: acu zīlīšu kustību izsekošanas tehnoloģija, kas ļauj reģistrēt acu skatiena virzienu, acu zīlīšu paplašināšanās pakāpi, mirkšķināšanas frekvenci, acu atklātuma pakāpi un citus parametrus ar speciālo videokameru (piemēram, <i>Blue-Eye camera</i>) un analizējošo programmnodrošinājumu palīdzību [1, 10, 24, 35];</li> <li>• citi cilvēka-datora mijiedarbības (<i>HCI</i>) īpašības, piemēram, peles pogas nospiešanas spēks, kursora pārvietošanas pa ekrānu īpašības u.c. [64].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Animēto pedagoģisko aģentu (skolotāju vai palīgu lomās) reakciju modelēšana, kas spēj attēlot emocijas, kas ekvivalentas apmācāmā emocijām pašreizējā momentā. Šis virziens attīsta un uzlabo parasto animēto aģentu ideju, vēl vairāk pietuvinot datorizēto apmācību tradicionālajai apmācībai ar skolotāju, kad emociju izteikšana ir dabiska skolotāja un skolnieka reakcija mācību procesā;</li> <li>• mācību materiāla piegādes organizēšanas pedagoģisko stratēģiju izvēle (tajā skaitā, mācību materiāla attēlošanas veids, dialoga ar lietotāju vadīšanas raksturs u.c.), ka arī mācību kursa parametru izmaiņa (tajā skaitā, mācību materiāla piegādes ātrums, secība u.c.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ETS [47],</li> <li>• AutoTutor [7],</li> <li>• MAUI [27],</li> <li>• Easy with Eve [42],</li> <li>• AdeLE [1, 18],</li> <li>• Emilie [31],</li> <li>• PRP [28].</li> </ul>

Mēģinājumu novērtēt un ievērot apmācāmā emocionālo un fizioloģisko stāvokli mācību procesā var uzskatīt par īpaši svarīgu izaicinājumu. Tomēr, šādas pieejas efektivitāte liekas ļoti nestabila, jo noteikto emociju imitācija ar pedagoģisko aģentu var arī negatīvi ietekmēt apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli, kas neveicinās apmācību efektivitātes paaugstināšanu.

Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeļa esamība negarantē mācību informācijas nākamās devas optimālo izvēli, jo pastāv diezgan liela varbūtība, ka nākamā mācību informācijas deva netiks apgūta ilgstošu laiku apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa neatbilstības dēļ. Tas notiek tāpēc, ka mācību informācija tiek apgūta daudz lēnāk, kad apmācāmā psihofizioloģiskais stāvoklis neatbilst aktīva nomoda stāvoklim, kas tiek uzskatīts par apmācībai ieteicamo stāvokli. Laiks, kas paiet, kamēr apmācāmā psihofizioloģiskais stāvoklis atgriežas apmācībai ieteicamajā stāvoklī, varētu būt diezgan ilgstošs un dažreiz var pat pārsniegt mācībām izdalīto laika resursu. Šis apstāklis ievērojami ierobežo vairāku datorizētajās apmācību sistēmās lietoto algoritmu iespējas, kuru izmantošana spēs parādīt labus rezultātus tikai ar priekšnoteikumu, ka apmācāmais atrodas apmācībai ieteicamajā psihofizioloģiskajā stāvoklī.

Tādēļ šajā promocijas darbā tiek piedāvāts adaptēt pašu apmācāmo, pārvaldot viņa psihofizioloģisko stāvokli mācību procesā, ar mērķi ieviest un uzturēt to apmācībai ieteicamajā psihofizioloģiskajā stāvoklī, kurā tiek sasniegts mācību informācijas optimālās uztveres ātrums.

Apmācību process no vadības teorijas viedokļa ir apskatīts 1.5. apakšnodaļā. Apmācību efektivitātes paaugstināšanai ir būtiski ne tikai novērot apmācāmā emocionālo un fizioloģisko stāvokli mācību procesā, bet arī nodrošināt šī stāvokļa pārvaldību ar mērķi sasniegt un uzturēt mācību informācijas uztveres maksimālo ātrumu. Lai īstenotu apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldību ir nepieciešams atrisināt sekojošus pamatuzdevumus:

- izveidot apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeli;
- veikt apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pastāvīgu monitoringu mācību procesā;
- veikt ārējo iedarbību uz apmācāmā uztveres kanāliem (sajūtu orgāniem).

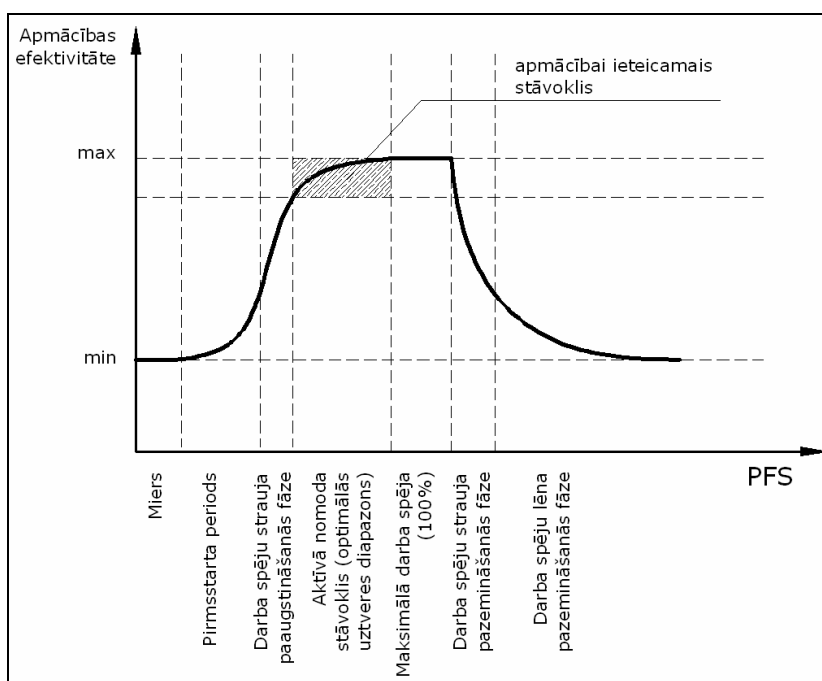
Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldība ļauj īstenot augstākā līmeņa adaptāciju noteiktas mācību programmas ietvaros, t.i. paša apmācāmā adaptāciju. Tas ļaus vairākkārt paaugstināt apmācību efektivitāti, salīdzinot ar sistēmām, kurās ir realizēti tikai zemāko līmeņa adaptācijas veidi.

## **2.2. Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pētīšana**

Pirmajā nodaļā veiktā datorizētu apmācību sistēmu analīze ļāva izvirzīt hipotēzi turpmāko pētījumu veikšanai šī promocijas darba ietvaros ar mērķi paaugstināt datorizētu apmācību sistēmu efektivitāti, pateicoties apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldībai mācību procesā.

Promocijas darba otrās nodaļas mērķis ir veikt apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldības īstenošanai nepieciešamo problēmvides raksturojumu izpēti.

2.1. apakšnodaļā ir veikts pētījums par apmācāmā emocionālā un fizioloģiskā stāvokļa ietekmi uz apmācību efektivitāti ar mērķi noteikt likumsakarības starp apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli un mācību informācijas uztveres spējām. Psihofizioloģijas pētījumu rezultātu analīze parādīja, ka, atrodoties aktīvā nomoda psihofizioloģiskajā stāvoklī, apmācāmajam piemīt mācību informācijas apgūšanas maksimālais ātrums [54, 65]. Tomēr apmācības veikšana maksimālās uztveres diapazonā nav ieteicama šī psihofizioloģiskā stāvokļa nestabilitātes dēļ, jo pastāv liela varbūtība novest apmācāmo pārslodzes stāvoklī.



2.2. att. Apmācības efektivitātes atkarība no cilvēka psihofizioloģiskā stāvokļa (PFS) veida

Balstoties uz psihofizioloģijas pētījumu rezultātiem, tiek rekomendēts veikt apmācību cilvēka optimālās uztveres diapazonā, kas atrodas aptuveni (60~90)% robežās no maksimālās uztveres (2.2. att.).

2.2. apakšnodaļā ir veikta apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeļa izveidošanas metožu analīze un piemērotākās psihofizioloģiskā stāvokļa novērtēšanas metodes izvēle promocijas darba eksperimentālo pētījumu veikšanai. Promocijas darba mērķu sasniegšanai tiek piedāvāts veidot apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeli, balstoties uz apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa novērtēšanu ar organisma fizioloģisko rādītāju (pulsa, ādas galvaniskās reakcijas, asinsspiediena, elpošanas parametru u.c.) reģistrācijas devēju palīdzību (2.2. tabula) [40].

## Psihofizioloģiskie rādītāji un to reģistrācijas devēji

<b>Psihofizioloģiskais rādītājs</b>	<b>Reģistrācijas devējs</b>	<b>Reģistrējamais parametrs</b>	<b>Komentārs (lietošanas pamatojums)</b>
1. Pulss	Pulsa (sirds ritma) reģistrācijas devējs	Pulss, [sitienu skaits laika vienībā]	Palielinoties emocionālajam un intelektuālajam saspridzinājumam, palielinās pulsa biežums [2, 34, 59].
2. Asinsspiediens	Asinsspiediena reģistrācijas devējs	Sistoliskais asinsspiediens, [mm Hg]	Palielinoties emocionālajam un intelektuālajam saspridzinājumam, paaugstinās asinsspiediens un asinsrites ātrums. Dinamiska darba apstākļos asinsspiediens mainās kā izpildāmā darba funkcija, pie kam, sistoliskais asinsspiediens palielinās praktiski proporcionāli slodzei, bet diastoliskais mainās tikai mazliet, tāpēc vidējais asinsspiediens vienmēr paaugstinās [2, 34, 59].
3. Ādas galvaniskā reakcija	Ādas galvaniskās reakcijas reģistrācijas devējs	Ādas elektropretestība [Om], Ādas vadāmība [Om <sup>-1</sup> ]	Ādas galvaniskā reakcija tiek uzskatīta par vienu no cilvēka funkcionālā stāvokļa visjūtīgākajiem rādītājiem. Ādas galvanisko reakciju reģistrē cilvēka fiziskā un emocionālā stāvokļa novērtēšanai, kā arī intelektuālo procesu analīzei [34, 55, 59, 63].
4. Elpošana (tips: krūšu elpošana, vēdera elpošana)	Elpošanas devējs	[ieelpu / izelpu skaits laika vienībā]	Elpošanas biežums palielinās slodzes un stresa stāvoklī palielinot skābekļa patēriņu šūnās [34, 59]. Vēdera elpošanas tips pārsvarā ir raksturīgs tikai vīriešiem, tāpēc to lietošana sieviešu funkcionālā stāvokļa novērtēšanai nav lietderīga.
5. Mikrokapilāru asinspiepildīšanās	Opto-elektriskais devējs	Audu optiskais blīvums (fotopletizmogramma)	Mainoties psihofizioloģiskam stāvoklim, mainās atsevišķu orgānu un ekstremitāšu asins apjoms, t.i. notiek asinsvadu sašaurināšanās un paplašināšanās [34, 59]. Fotopletizmografs ļauj neinvazīvi reģistrēt asinsvadu asins piepildīšanās pulsācijas. Pulsāciju līknes forma ir atkarīga no vairākiem parametriem, tajā skaitā no cilvēka pašreizēja fizioloģiskā stāvokļa.

<b>Psihofizioloģiskais rādītājs</b>	<b>Reģistrācijas devējs</b>	<b>Reģistrējamais parametrs</b>	<b>Komentārs (lietošanas pamatojums)</b>
6. Fiziskā (kustību) aktivitāte	Tremora devējs vai digitālā videokamera	Ķermeņa kustības	Kustību parametru reģistrācija ir nepieciešama, jo dažreiz kustību rādītāji izpaužas pat ātrāk nekā pārējie fizioloģiskie rādītāji, t.sk. asinsspiediens u.c. [2, 7, 42, 59].
7. Sejas izteiksme (sejas mīmika, lūpas, acis)	Sejas mīmikas devējs vai digitālā videokamera	Atkarībā no lietotās metodes tiek reģistrēti: - lūpu forma, - uzacu forma, - acu mirkšķināšanas biežums, - acu zīlīšu paplašināšanas pakāpe, u.c.	Mīmika ir sejas muskuļu kustība, kas atspoguļo cilvēka iekšējo emocionālo stāvokli. Pārdzīvojot noteiktas jūtas, notiek koordinēta sejas muskuļu saspišanās un atslābināšanās, kas arī veido attiecīgo sejas izteiksmi [10, 11, 15, 18, 19, 24, 33].
8. Balss parametri	Mikrofons	Atkarībā no lietotās metodes tiek reģistrēti dažādi balss parametri: tonis (nokrāsa), tembrs, temps, skaļums, augstums u.c., lietojot dažādas analīzes metodes, t.sk. skaņas viļņa formas analīzi, frekvenču spektra analīzi, fizioloģiskā tremora (balss membrānas vibrāciju) analīzi u.c.	Dažādi balss parametri liecina par cilvēka noteikto psihofizioloģisko un emocionālo stāvokli [21, 22, 41, 46]. Apmācāmā balss atbilžu analīze var tikt lietota psihofizioloģiskā stāvokļa noteikšanas vienkāršotajā versijā, kad pārējo devēju pieslēgšana nav iespējama, piemēram, vispasaules tīmekļa vidē.

Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modelēšanu var veikt, lietojot arī citus psihofizioloģiskus rādītājus [2, 5, 7, 12, 25, 26, 27, 28, 34, 45, 56, 59].

Vairākām cilvēka reakcijām ir universāls raksturs, tāpēc tās izpaužas vienādi dažādās situācijās. Turpretī ir iespējamās dažu rādītāju nejaušas novirzes, kas nav jāņem vērā, novērtējot pašreizējo psihofizioloģisko stāvokli, piemēram, dabiskie traucēkļi elpošanas reģistrācijas procesā – dziļa ieelpa, apzināta elpošanas aizture u.c. Tādēļ ar mērķi palielināt psihofizioloģiskā stāvokļa novērtēšanas procedūras rezultātu drošumu un ticamību, ir vienlaicīgi jāreģistrē vairāki psihofizioloģiskie rādītāji. Jo vairāk dažādu rādītāju tiek reģistrēti un analizēti, jo ticamāks ir saņemtais rezultāts par apmācāmā pašreizējo psihofizioloģisko stāvokli.

2.3. apakšnodaļa ir veltīta apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldībai. Psihofizioloģijas pētījumu rezultātu analīze parādīja, ka ir iespējams realizēt cilvēka psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldību, lietojot dažāda tipa ārējas iedarbības uz cilvēka jūtu orgāniem. 2.3.1. apakšnodaļā ir veikta cilvēka ārējo iedarbību uztveres īpatnību pētīšana, bet 2.3.2. apakšnodaļā ir veikta dažādu metožu un ierīču (izpildmehānismu) iedarbības pētīšana uz apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli. Balstoties uz šo pētījumu rezultātiem tika noteikts, ka, spēcīgāko iedarbības efektivitāti var panākt, kompleksi realizējot iedarbību uz vairākiem apmācāmā sajūtu orgāniem. Promocijas darba mērķu sasniegšanai ir piedāvāta dažādu efektoru lietošana, kas veiks komplekso ārējo iedarbību uz apmācāmo ar mērķi uzturēt apmācībai ieteicamo psihofizioloģisko stāvokli.

2.3.3. apakšnodaļā ir apskatīta uz sadarbību balstīta elektroniskā apmācība (*collaborative learning*) no apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldības viedokļa. Šinī gadījumā tika secināts, ka *collaborative* apmācību procesā apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa noturēšana apmācībai rekomendējamajā stāvoklī notiek, pateicoties t.s. „sacensšanās” efektoram.

## **2.3. Uz psihofizioloģiskā stāvokļa modeļa balstītu adaptīvo datorizēto apmācības sistēmu izstrādes metodes un algoritmi**

Trešās nodaļas mērķis ir izstrādāt modeļu, metožu un algoritmu kopu adaptīvo, datorizēto apmācību sistēmu izstrādei uz apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeļa pamata.

### **2.3.1. Apmācības sistēma ar duālo adaptāciju**

Promocijas darbā tiek piedāvāta pieeja adaptīvo datorizēto apmācību sistēmu (ar apmācāmā modeli) izstrādāšanai, kas paredz duālas adaptācijas organizēšanu mācību procesā.



Par „duālo adaptāciju” tiek uzskatīta, pirmkārt, apmācāmā adaptācija mācību procesam, proti, apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldība ar mērķi uzturēt apmācībai ieteicamo psihofizioloģisko stāvokli, otrkārt, datorizētas apmācību sistēmas vai programmas adaptācija atbilstoši apmācāmā individuālajam raksturojumam. Atšķirībā no tradicionālās pieejas adaptīvo datorizēto apmācību sistēmu uzbūvei, kas paredz vienīgi sistēmas adaptācijas īstenošanu, jaunas pieejas ietvaros tiek realizēti vienlaicīgi abi adaptāciju veidi: apmācāmā un datorizētās apmācību sistēmas.

Apmācības sistēmas (ar duālo adaptāciju) shēma ir parādīta 2.3. attēlā. Par tradicionālo, adaptīvo datorizēto apmācību sistēmas shēmu tiek izvēlēta 1.5. apakšnodaļā aprakstītā sistēma no [61] (2.3. attēlā tā ir izvietota apakšā un apzīmēta ar plāno līnijas tipu).

Shēmas komponentu un to savstarpējas mijiedarbības apraksts (saskaņā ar 2.3. att.) ir dots formālā veidā:

### **1. «APFS reģistrācijas devēju kopums»**

Katra apmācāmā psihofizioloģiskais stāvoklis tiek raksturots ar noteiktu psihofizioloģisko rādītāju kopu  $\omega_i$ , kas mainās laikā  $t$ :

$$\Omega = \{\omega_1(t), \omega_2(t), \dots, \omega_i(t)\}, \quad (2.1.)$$

kur  $i$  – reģistrējamo psihofizioloģisko rādītāju skaits.

Apmācāmā psihofizioloģisko rādītāju  $\omega_i$  reģistrācija notiek ar speciālo devēju kopu:

$$\mathbf{D}^\Omega = \{d_1, d_2, \dots, d_j / j \in \{1, 2, \dots, i\}\} \quad (2.2.)$$

Mērījumu rezultāti  $\Omega' = \mathbf{D}^\Omega(\Omega)$  tiek pārraidīti blokā „APFS reģistrators”.

### **2. «APFS reģistrators»**

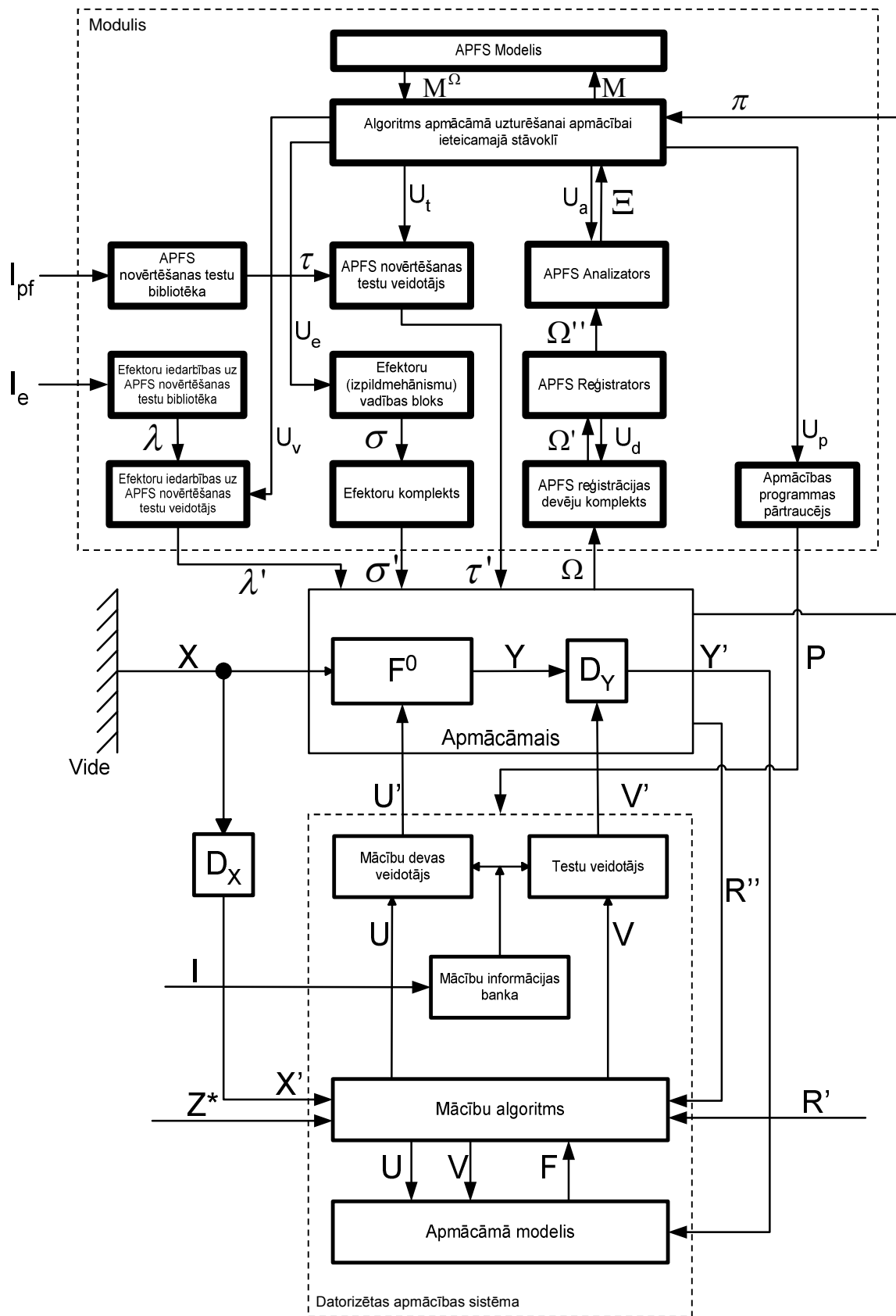
Galvenā bloka „Algoritms apmācāmā uzturēšanai apmācībai ieteicamajā stāvoklī” vadībā izpilda apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa reģistrācijas devēju vadības funkciju, tajā skaitā sinhronizē devēju darbību:

$$\mathbf{U}_d = \mathbf{0} (\mathbf{D}^\Omega) \quad (2.3.)$$

„APFS reģistrators” izpilda arī devēju signālu pārveidošanas funkciju digitālajā formā signālu turpmākai apstrādei „APFS analizatorā”:

$$\Omega'' = \begin{cases} g(\Omega'), & \text{ja } \Omega' - \text{analogsignāls} \\ \Omega', & \text{ja } \Omega' - \text{ciparsignāls} \end{cases} \quad (2.4.)$$

kur  $g$  – analogsignālu pārveidošanas funkcija ciparsignālu formā (analogciparu pārveidotājs).



2.3. att. Apmācību sistēmas ar duālo adaptāciju shēma <sup>1</sup>

<sup>1</sup> APFS – Apmācāmā psihofizioloģisks stāvoklis

Shēmas komponentu un to savstarpējas mijiedarbības apraksta (saskaņā ar 2.3. att.) turpinājums:

### **3. «APFS analizators»**

«APFS analizators» izpilda psihofizioloģisko datu analīzi un apstrādi moduļa dažādos darbības režīmos  $\rho$ :

$$\rho = \{\rho_1, \rho_2, \rho_3\}, \quad (2.5.)$$

kur  $\rho_1$  – sākotnējās testēšanas režīms apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa novērtēšanai un apmācībai ieteicamajam stāvoklim raksturīgo psihofizioloģisko rādītāju vērtību diapazonu noteikšanai,

$\rho_2$  – sākotnējais testēšanas režīms efektoru iedarbības novērtēšanai uz apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli,

$\rho_3$  – moduļa darbības pamatrežīms mācību procesā.

Galvenā bloka „Algoritms apmācāma uzturēšanai apmācībai ieteicamajā stāvoklī” vadībā  $U_a$  izpilda psihofizioloģisko datu analīzi un apstrādi, kas tiek iegūti no dažādiem psihofizioloģisko reakciju reģistrācijas devējiem un pārveidoti ciparsignālu formā ar reģistratora palīdzību katra apmācāmā visu psihofizioloģisko rādītāju  $\omega_i$  funkciju (atkarību) kopas veidā:

$$\Xi = \begin{cases} \Omega''(t), & ja \quad \rho = \rho_1 \\ \forall E_\eta^r \quad \{\Omega''(t), E_\eta^r\}, & ja \quad \rho = \rho_2, \\ \Omega''(t), & ja \quad \rho = \rho_3 \end{cases} \quad (2.6.)$$

kur  $\Omega''(\mathbf{t}) = \{\omega_1''(\mathbf{t}), \omega_2''(\mathbf{t}), \dots, \omega_i''(\mathbf{t})\}$

$E_\eta^r$  – izmatotā efektorā tips  $\eta$ , pie šī efektorā ieslēgtā režīma  $r$ ,

$E_\eta^r = \{E_1^r, E_2^r, \dots, E_{r_\eta}^r\}$ , kur  $r_\eta - \eta$ -tā efektorā režīmu skaits,

Tādejādi „APFS analizators” nosaka:

- apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa izmaiņas sākotnējās testēšanas procesā (režīmā  $\rho_1$ ), kad notiek apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa novērtēšana un apmācībai ieteicamajam stāvoklim raksturīgo psihofizioloģisko rādītāju vērtību diapazona noteikšana;

- apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa izmaiņas dažādu efektoru iedarbības procesā (režīmā  $\rho_2$ ), kad notiek efektoru iedarbības sākotnējā testēšana uz apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli;
- apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli un tā izmaiņas dinamiku mācību procesā (režīmā  $\rho_3$ ).

Psihofizioloģisko datu apstrādes rezultāti – atkarību (funkciju) kopa  $\Xi$  – tiek pārraidīti blokā „Algoritms apmācāmā uzturēšanai apmācībai ieteicamajā stāvoklī”.

#### **4. «Algoritms apmācāmā uzturēšanai apmācībai ieteicamajā stāvoklī»**

Tas ir moduļa galvenais bloks, jo izpilda visu pamatfunkciju centralizēto vadību:

$$\Theta = \begin{cases} \{U_a, U_d, U_t, \Theta_{opt}\} & ja \quad \rho = \rho_1 \\ \{U_a, U_d, U_v, U_e\} & ja \quad \rho = \rho_2, \\ \{U_a, U_d, U_e, U_p, \Theta_{mkv}, \Theta_{mn}, \Theta_{pr}\} & ja \quad \rho = \rho_3 \end{cases} \quad (2.7.)$$

kur  $U_a$  – APFS analizatora vadības funkcija,

$U_d$  – APFS reģistratora vadības funkcija,

$U_t$  – apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa novērtēšanas testu veidotāja vadības funkcija,

$U_v$  – efektoru iedarbība uz APFS novērtēšanas testu veidotāja vadības funkcijām,

$U_e$  – efektoru vadības bloka vadības funkcija,

$U_p$  – apmācību programmas pārtraucēja vadības funkcija,

$\Theta_{opt}$  – apmācībai ieteicamajam stāvoklim raksturīgo psihofizioloģisko rādītāju vērtību diapazona noteikšana,

$\Theta_{mkv}$  – efektoru kompleksās iedarbības noteikšana,

$\Theta_{mn}$  – apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa monitorings mācību procesā,

$\Theta_{pr}$  – apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa prognozēšana, balstoties uz APFS modeļa ( $M^{\Omega}_3$ ) datiem, kas tika iegūti iepriekšējo apmācību seansu laikā.

4. bloks izmanto sekojošus datus:

$\Xi$  – katra apmācāmā visu psihofizioloģisko rādītāju  $\omega_i$  funkciju (atkarību) kopa, kas tiek iegūta no APFS analizatora saskaņā ar pašreizējo darbības režīmu  $\rho$ ,

$\pi$  – dati no apmācāmā atbildēm uz testa jautājumiem.

Bloks „Algoritms apmācāmā uzturēšanai apmācībai ieteicamajā stāvoklī” mijiedarbojas ar bloku „APFS modelis”:

- piedalās katra datorizētās apmācības sistēmas lietotāja psihofizioloģiskā modeļa  $\mathbf{M}^\Omega$  veidošanas procesā,
- izmanto APFS modeli  $\mathbf{M}^\Omega$  mācību procesā, optimālās iedarbības izvēlei ar mērķi maksimāli ātri ievest apmācāmo apmācībai ieteicamajā stāvoklī.

Apmācāmā modeļa esamība ļauj prognozēt arī apmācāmā stāvokli mācību procesā, kas ļauj samazināt sistēmas reakcijas laiku uz apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa izmaiņām, t.i. paaugstināt APFS pārvaldības efektivitāti.

### **5. «APFS modelis»**

APFS modelis satur sekojošu informāciju par datorizētās apmācības sistēmas katra lietotāja psihofizioloģisko stāvokli:

$$\mathbf{M}^\Omega = \{ \mathbf{M}^\Omega_1, \mathbf{M}^\Omega_2, \mathbf{M}^\Omega_3 \}, \quad (2.8.)$$

kur  $\mathbf{M}^\Omega_1$  – apmācāmā psihofizioloģisko rādītāju vērtību diapazons stāvoklī, kas atbilst apmācībai ieteicamajam psihofizioloģiskajam stāvoklim,

$\mathbf{M}^\Omega_2$  – apmācāmā psihofizioloģisko rādītāju vērtību diapazons dažādu efektoru iedarbības laikā,

$\mathbf{M}^\Omega_3$  – «history», (psihofizioloģisko raksturojumu vērtības, kas ir iegūtas iepriekšējo apmācību seansu laikā).

$$M = \begin{cases} \mathbf{M}_1^\Omega = \Theta_{opt}(\Omega''(t), \pi(t)) & ja \ \rho = \rho_1 \\ \mathbf{M}_2^\Omega = \{Q(\Omega''(t), E_\eta^r(t)) \mid \forall \eta, \ r \in \{1..r_\eta\}\} & ja \ \rho = \rho_2, \\ \Theta_{mn}(\Xi) & ja \ \rho = \rho_3 \end{cases} \quad (2.9.)$$

kur  $\pi$  – dati no apmācāmā atbildēm uz testa jautājumiem,

$\pi(t)$  – pareizo atbilžu skaits laika vienībā (kalpo ātruma vai veiktspējas noteikšanai),

$E_\eta^r = \{E_1^{r_1}, E_2^{r_2}, \dots, E_\eta^{r_\eta}\}$ , kur  $r_\eta$  –  $\eta$ -tā efektora režīmu skaits,

Modelis  $\mathbf{M}^\Omega$  apraksta apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa novērtējumu  $\hat{\Omega}$ .

### **6. «APFS novērtēšanas testu bibliotēka»**

Satur dažādus testus apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa novērtēšanai:

$$\tau = \{ \tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_b \}, \quad (2.10.)$$

kur  $\mathbf{b}$  – testu skaits.

Pastāv iespēja pievienot jaunus testus  $\mathbf{I}_{pf}, \mathbf{I}_{pf} \in \boldsymbol{\tau}$ .

Iegultās realizācijas gadījumā „APFS novērtēšanas testu bibliotēka” varētu būt saistīta ar datorizētās apmācību programmas testu veidotāju (3.5. apakšnodaļa).

### **7. «APFS novērtēšanas testu veidotājs»**

Veido testus apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa novērtēšanai:

$$\boldsymbol{\tau}' = \mathbf{U}_t(\boldsymbol{\tau}, \mathbf{O}), \quad (2.11.)$$

kur  $\boldsymbol{\tau}$  – testi no testu bibliotēkas,

$\mathbf{O}$  – datorizētās apmācību programmas priekšmetiskais apgabals.

Testa veidošana notiek, izmantojot esošo testu bibliotēku, atkarībā no datorizētās apmācības programmas priekšmetiskā apgabala un citam īpatnībām.

### **8. «Efektoru (izpildmehānismu) komplekts»**

Satur efektoru kopumu  $E_\eta^r$  iedarbībai uz apmācāmā sajūtu orgāniem ar mērķi izmainīt viņa psihofizioloģisko stāvokli:

$$E_\eta^r = \{E_1^{r_1}, E_2^{r_2}, \dots, E_\eta^{r_\eta}\}, \quad (2.12.)$$

kur  $\eta$  – efektoru tips,

$r_\eta$  –  $\eta$ -tā efektoru režīmu skaits.

Kompleksā iedarbība tiek īstenota vairākkritēriju optimizācijas algoritma rezultātā (3.3. nodaļa):

$$\boldsymbol{\sigma}' = \boldsymbol{\Theta}_{mkv}(\boldsymbol{\sigma}, E_\eta^r, \boldsymbol{\Xi}) \quad (2.13.)$$

### **9. «Efektoru vadības bloks»**

Pārvalda efektoru darbību:

$$\mathbf{U}_e = \boldsymbol{\sigma}(E_\eta^r) \quad (2.14.)$$

### **10. «Efektoru iedarbība uz APFS novērtēšanas testu bibliotēku»**

Satur dažādus testus efektoru iedarbības novērtēšanai uz apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli:

$$\boldsymbol{\lambda} = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_a\}, \quad (2.15.)$$

kur  $\mathbf{a}$  – testu skaits.

Pastāv iespēja papildināt testu bibliotēku ar jauniem testiem  $\mathbf{I}_e, \mathbf{I}_e \in \lambda$ .

### **11. «Efektoru iedarbības uz APFS novērtēšanas testu veidotājs»**

Veic apmācāmā testēšanu:

$$\lambda' = U_v(\lambda, \mathbf{O}), \quad (2.16.)$$

kur  $\lambda$  – testi no testu bibliotēkas,

$\mathbf{O}$  – datorizētās apmācību programmas priekšmetiskais apgabals.

Tests  $\lambda'$  tiek sastādīts saskaņā ar mācību programmas priekšmetisko apgabalu  $\mathbf{O}$ , lietojot pieejamos testus  $\lambda$  no "Efektoru iedarbības uz APFS novērtēšanas testu bibliotēkas".

Tests  $\lambda'$  ir paredzēts visu lietoto efektoru  $E_\eta$  dažādu režīmu  $r$  testēšanai:

$E_\eta^r$  – lietoto efektoru kopums, kur  $\eta$  – efektoru tips pie šī efektoru ieslēgtā režīma  $r$ ,

$E_\eta^r = \{E_1^{\eta_1}, E_2^{\eta_2}, \dots, E_n^{\eta_n}\}$ , kur  $r_\eta$  ir  $\eta$ -tā efektoru režīmu kopa.

### **12. «Apmācības programmas pārtraucējs»**

Izpilda datorizētās apmācības programmas pārtraukumu gadījumos, kad apmācāmā psihofizioloģisko rādītāju vērtības neatbilst apmācībai ieteicamo stāvokli raksturojošam vērtību diapazonam:

$$\mathbf{P} = U_p(\mathbf{eL}) = \begin{cases} Break(\mathbf{eL}), & ja \quad APFS \notin \text{apmācībai ieteicamais stāvoklis,} \\ Continue(\mathbf{eL}), & ja \quad APFS \in \text{apmācībai ieteicamais stāvoklis,} \end{cases} \quad (2.17.)$$

kur  $\mathbf{eL}$  – datorizētās apmācības programma.

Datorizētās apmācības programmas pārtraukšana var arī netikt īstenota, ja efektoru iedarbība netraucē mācību procesam.

### **2.3.2. Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modelis**

Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modelis ļauj ievērot viņa emocionālo un fizioloģisko stāvokli datorizētās apmācības procesā.

Apmācībai ieteicamā stāvokļa novērošanai un noteikšanai tiek piedāvāts veikt apmācāmā noteikto psihofizioloģisko rādītāju monitoringu mācību procesā ar speciālo „biofeedback” tipa devēju palīdzību (2.2. tabula). Katram apmācāmajam, atrodoties apmācībai ieteicamajā stāvoklī, piemīt psihofizioloģisko rādītāju individuālās vērtības. Pirmkārt, ir nepieciešams

noteikt šīs vērtības katram datorizētās sistēmas lietotājam (t.i. apmācāmajam). Tādēļ darbā tiek piedāvāts veikt apmācāmā testēšanu, kuras rezultātā tiek būvētas informācijas apstrādes ātruma funkcionālās atkarības visiem reģistrējamiem psihofizioloģiskiem rādītājiem. Algoritms, kas izstrādāts apmācībai ieteicamā stāvokļa un to raksturojošo psihofizioloģisko rādītāju vērtību diapazonu noteikšanai, ir aprakstīts promocijas darba 3.2.1. apakšnodaļā. Vairākumam apmācāmo sagādā grūtības patstāvīgi uzturēt apmācībai ieteicamo stāvokli, jo cilvēkam psihofizioloģiskais stāvoklis var ātri un viegli mainīties, pat nebūtisku iemeslu vai iedarbību dēļ. Darbā tiek piedāvāts veikt dažādas ārējās iedarbības uz apmācāmo, izmantojot speciālo izpildmehānismu – efektoru – palīdzību, lai veicinātu apmācībai ieteicamā stāvokļa iestāšanos un uzturēšanu (promocijas darba 2.3. apakšnodaļa). Katram apmācāmajam ir ārējās iedarbības uztveres individuālās īpatnības. Tādēļ ir nepieciešams veikt testēšanu ar mērķi noteikt dažādu efektoru iedarbības pakāpes uz katru datorizēto apmācību sistēmu lietotāju – apmācāmo. Algoritms, kas izstrādāts efektoru iedarbības pakāpes noteikšanai uz apmācāmo, ir aprakstīts promocijas darba 3.2.2. apakšnodaļā. Balstoties uz augstāk aprakstīto abu testēšanas rezultātiem, tiek uzbūvēts apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modelis (promocijas darba 3.2. apakšnodaļa). Pateicoties šim modelim, kļūst iespējams īstenot apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldību datorizētu apmācību procesā.

Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeļa apraksts formālā veidā ir pieejams iepriekšējā apakšnodaļā (2.3. att. shēmas 5. bloka apraksts).

### 2.3.3. Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldība

Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldības efektoru kompleksās iedarbības rezultātā uzdevumu tiek piedāvāts risināt, lietojot vairākkritēriju optimizācijas metodi.

Vairākkritēriju optimizācija tiek definēta sekojoši [66]:

$$F_i = f_i(x) \rightarrow \max \quad (2.18.)$$

$x \in X$ , kur  $X$  – mainīgo  $x$  pieļaujamo vērtību kopa;

$i$  – mērķa funkciju (kritēriju) skaits.

Ar efektoru optimālās iedarbības noteikšanas uzdevumu tiek domāta maksimāli efektīvas efektoru iedarbības uz apmācāmo organizēšana, kas, savukārt, paredz apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa ieviešanu aktīvā nomoda stāvoklī ar minimālo laika patēriņu. Tādējādi ir iespējams šī uzdevuma risināšanai lietot kādu no vairākkritēriju optimizācijas uzdevumu pārveidošanas metodēm par vienkritēriju optimizācijas uzdevumu [53, 57]. Šī



darba ietvaros tiek piedāvāts lietot lineārās saritināšanās metodi, kas tiek definēta sekojoši [66]:

$$\Phi(x) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot F_i(x), \quad c_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^n c_i = 1, \quad (2.19.)$$

kur  $c_i$  – svara koeficienti, kas tiek definēti atkarībā no kritēriju svarīguma.

Efektoru optimālās iedarbības noteikšanas algoritma ieejas dati ir sekojoši:

1. Psihofizioloģiskie dati, kas tiek iegūti mācību laikā apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa monitoringa procesā:

$\Omega = \{\omega_1(\mathbf{t}), \omega_2(\mathbf{t}), \dots, \omega_i(\mathbf{t})\}$ , kur  $i$  – reģistrējamo psihofizioloģisko rādītāju skaits.

Funkciju kopai  $\Omega$  ir šādi ierobežojumi:

- Psihofizioloģisko rādītāju  $\omega_i$  vērtības, kas atbilst aktīvā nomoda stāvoklim, ir ierobežotas ar apmācībai rekomendējamā diapazona sākuma un beigu vērtībām (tiek noteiktas ar „Apmācībai ieteicamajam stāvoklim raksturīgo psihofizioloģisko rādītāju vērtību diapazona noteikšanas algoritmu”, 3.2.1. apakšnodaļa):

$$\Omega_{i \text{ opt}} = \{ \omega_{i \text{ opt}} : \omega_{i \text{ opt\_start}} \leq \omega_{i \text{ opt}} \leq \omega_{i \text{ opt\_end}} \}$$

- Katra apmācāmā psihofizioloģisko rādītāju  $\omega_i$  vērtībām ir individuālie fizioloģiskie ierobežojumi (robežvērtības tiek noteiktas apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa testēšanas procesā):

$$\Omega_{i \text{ ind}} = \{ \omega_{i \text{ ind}} : \omega_{i \text{ ind\_start}} \leq \omega_{i \text{ ind}} \leq \omega_{i \text{ ind\_end}} \}$$

2. Dati par efektoru iedarbību uz apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli, kas tiek iegūti efektoru testēšanas režīma laikā (funkcionālās atkarības tiek noteiktas ar „Efektoru ietekmes pakāpes uz apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli noteikšanas algoritmu”, 3.2.2. apakšnodaļa):

$$\Omega(E_\eta^r) = \{ \omega_i(E_\eta^r) \},$$

kur  $i$  – reģistrējamo psihofizioloģisko rādītāju skaits,

$E_\eta^r = \{E_1^r, E_2^r, \dots, E_\eta^r\}$  - lietoto efektoru kopums, kur  $r_\eta$  ir  $\eta$ -tā efektoru režīmu kopa.

Funkciju kopai  $\Omega(E_\eta^r)$  ierobežojumi tiek uzstādīti saskaņā ar lietoto efektoru veidiem un to darbības režīmu tehniskajiem raksturojumiem.

Efektoru iedarbības optimizācijas uzdevumā smaguma koeficientu noteikšanu tiek piedāvāts veikt saskaņā ar efektoru  $E_\eta^r$  ranžēšanas metodi pēc maksimālas iedarbības uz

katru reģistrējamo psihofizioloģisko rādītāju  $\omega_i$ . Piemēram, pirmā efektorā iedarbības smaguma koeficients tiek izskaitļots pēc sekojošas formulas:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\sum_{i=1}^i rangs(\omega_i, E_1^r)} + \frac{1}{\sum_{i=1}^i rangs(\omega_i, E_2^r)} + \dots + \frac{1}{\sum_{i=1}^i rangs(\omega_i, E_5^r)}}, \quad (2.20.)$$

kur  $i$  – reģistrējamo psihofizioloģisko rādītāju skaits;  $r$  – katra efektorā režīmu skaits.

Katra efektorā rangs tiek piešķirts, saskaņā ar to iedarbības efektivitāti uz visiem reģistrējamajiem psihofizioloģiskajiem rādītājiem, balstoties uz datiem, kas iegūti efektoru testēšanas procesā (3.2.2. apakšnodaļa). Tādējādi augstas ticamības smaguma koeficientu noteikšana tiek sasniegta, balstoties uz katra apmācāmā individuālajiem psihofizioloģiskajiem datiem.

#### 2.3.4. Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldības moduļa autonomās realizācijas pieeja

Mācību procesa uzturēšanai, izmantojot jaunu pieeju ar duālo adaptāciju, tiek piedāvāts realizēt promocijas darbā izstrādātos modeļus, metodes un algoritmus speciālā moduļa veidā (moduļa struktūras shēma ir parādīta 3.1. attēla augšējā daļā un tā elementi ir apzīmēti ar lielāko līnijas biezumu).

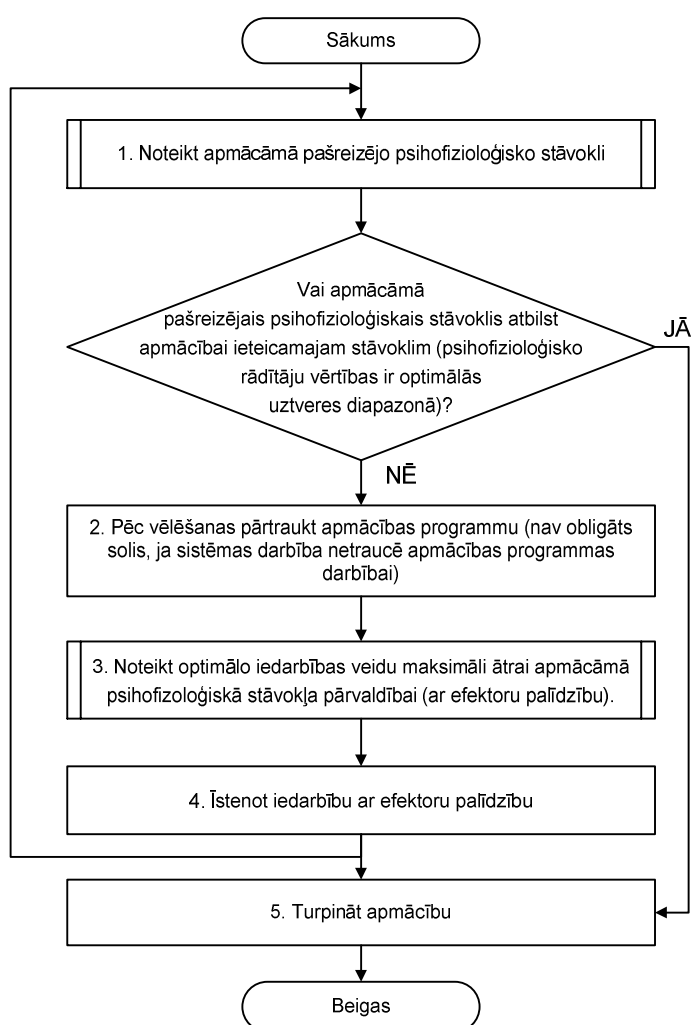
Moduļa realizācijai ir paredzēti trīs darbības režīmi – divi testēšanas un viens pamatrežīms (2.3. tabula).

2.3. tabula

Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldības moduļa darbības režīmu apskats

Režīma nosaukums	Mērķis	Apraksts
1. Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa testēšanas režīms	Noteikt apmācībai ieteicamajam stāvoklim raksturīgo psihofizioloģisko rādītāju vērtību diapazonu.	Apmācāmā testēšana, kuras procesā tiek noteikts apmācībai ieteicamajam stāvoklim raksturīgais psihofizioloģisko rādītāju vērtību diapazons, kas atbilst aktīvā nomoda funkcionālajam stāvoklim, t.i. tiek noteiktas visu reģistrējamo psihofizioloģisko rādītāju funkcionālās atkarības (šī diapazona noteikšanas metode un algoritms ir detalizēti aprakstīti darba 3.2.1. apakšnodaļā, eksperimentālo pētījumu rezultāti ir pieejami 4.3. apakšnodaļā).
2. Efektoru iedarbības uz	Noteikt apmācāmā psihofizioloģisko	Efektoru iedarbības novērtēšana uz apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa izmaiņām, tajā skaitā,

Režīma nosaukums	Mērķis	Apraksts
apmācāmo testēšana	stāvokli raksturojošo rādītāju vērtību izmaiņu dažādu efektoru iedarbības procesā.	efektīvāko iedarbības metožu noteikšana (metode ir detalizēti apskatīta 3.2.2. un 3.3. apakšnodaļās, eksperimentālo pētījumu rezultāti ir pieejami 4.4. apakšnodaļā).
3. Pamatrežīms	Uzturēt apmācībai ieteicamo psihofizioloģisko stāvokli datorizētās apmācības procesā.	Pamatdarbības režīms mācību laikā, kad notiek apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldība ar speciālo izpildmehānismu – efektoru palīdzību.  Pamatrežīma darbības algoritms ir attēlots 2.4. att.



2.4. att. Moduļa autonomās realizācijas pamatrežīma darbības algoritms

Moduļa autonomā realizācija ir izstrādāta ar mērķi paaugstināt esošo datorizēto apmācības sistēmu efektivitāti, jo, pateicoties autonomitātei, var tikt lietota praktiski jebkuras datorizētās apmācības sistēmas iespēju paplašināšanai. Pašlaik jau ir izstrādāts liels daudzums dažādu datorizēto apmācības sistēmu vairākās mācību disciplīnās, tāpēc moduļa autonomā realizācija

ļauj ne tikai paaugstināt esošo datorizēto apmācības sistēmu didaktisko efektivitāti, bet arī sasniegt būtisku ekonomisko efektu. Ir iespējami moduļa autonomās realizācijas divi lietošanas varianti:

- 1) ar apmācības programmas pārtraukšanu;
- 2) bez apmācības programmas pārtraukšanas.

Ekspertālo pētījumu gaitā tika secināts, ka apmācības programmas pārtraukšana nav vajadzīga, jo modulis netraucē datorizētās apmācības programmas darbībai, kas ļāva efektīvāk izmantot apmācībai atvēlēto laiku (t.i. netērēt to uz apmācības programmas ieslēgšanu un izslēgšanu).

Kaut gan izstrādāto moduli ir paredzēts lietot kopā ar datorizētās apmācības sistēmām, piedāvātā moduļa autonomā realizācija pati par sevi var tikt nosaukta par intelektuālo sistēmu, jo atbilst visiem intelektualitātes kritērijiem [30, 50, 60], proti:

- *Reaktivitāte* izpaužas spējā uztvert ārējās vides izmaiņas un reaģēt uz tām saskaņā ar saviem mērķiem. Modulis reģistrē apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa rādītāju vērtības un iedarbojas uz apmācāmo ar saviem izpildmehānismiem (efektoriem), ar mērķi uzturēt apmācībai ieteicamo psihofizioloģisko stāvokli.
- *Pro-aktivitāte* - ir spēja demonstrēt „iniciatīvu” saskaņā ar ārējās vides izmaiņām savu mērķu sasniegšanai. Ar mērķi maksimāli ātri ievest apmācāmo noteiktajā stāvoklī, piedāvātais modulis spēj izvēlēties labāko iedarbības veidu konkrētam apmācāmajam.
- *Sociālā uzvedība* paredz komunikācijas vai sadarbības iespējas ar citām – dabīgām vai mākslīgām sistēmām. Piedāvātajam modulim ir mijiedarbības interfeiss gan ar apmācāmo, gan ar datorizētās apmācības sistēmu, kuras efektivitātes paaugstināšanai tā ir domāta.

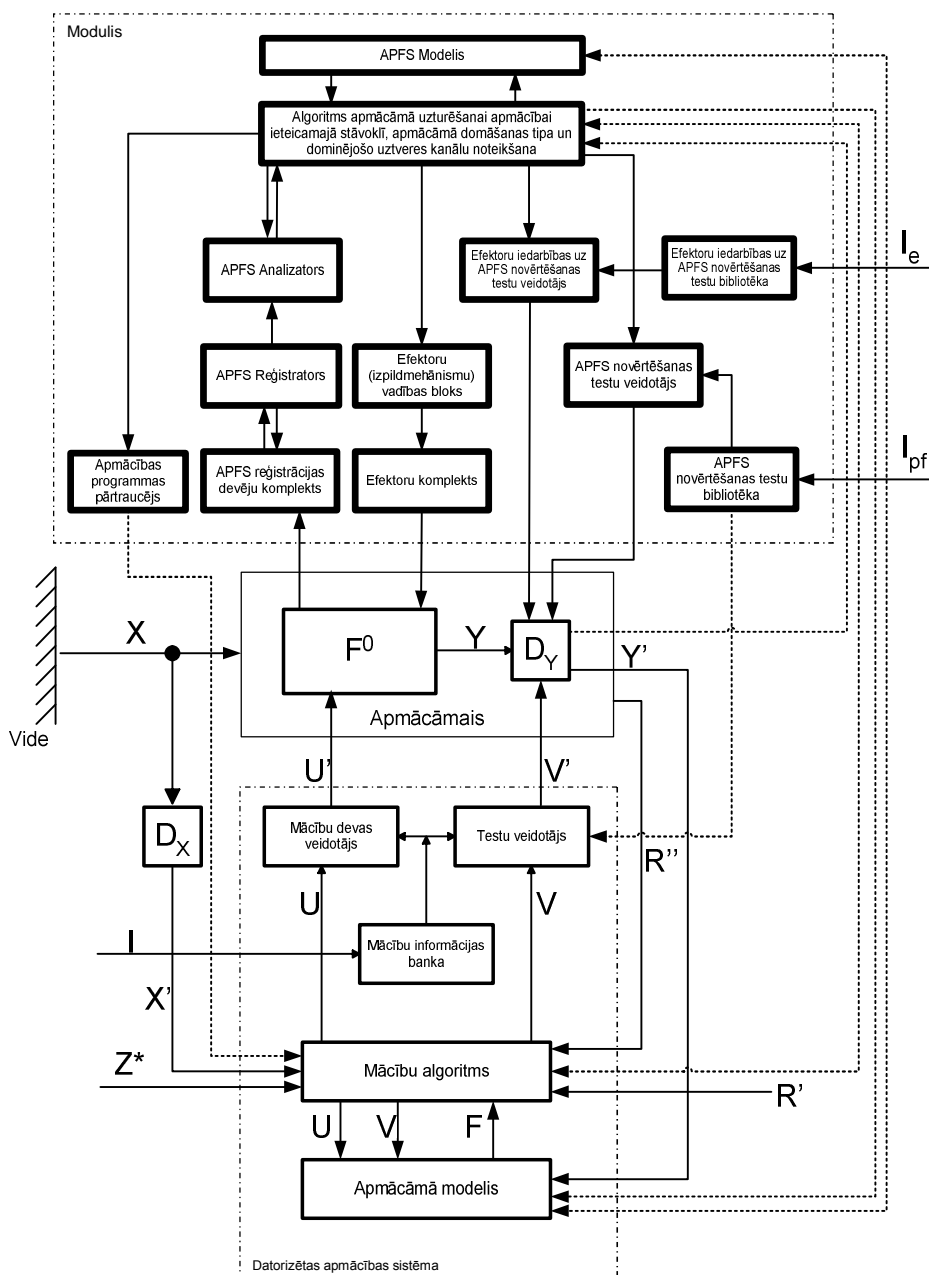
### **2.3.5. Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldības moduļa iegultās realizācijas pieeja**

Autonomās realizācijas pieeja ļauj lietot izstrādāto moduli praktiski jebkuras datorizētās apmācības sistēmas efektivitātes paaugstināšanai. Šajā gadījumā moduļa mērķis ir īstenot pirmo adaptāciju, proti, apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa uzturēšanu aktīvā nomoda stāvoklī, kas tiek uzskatīts par rekomendējamo mācību informācijas uztverei un apgūšanai. Moduļa autonomās realizācijas gadījumā par otro adaptāciju kalpo datorizētās apmācības sistēmas adaptācija.

Darbā tiek piedāvāta arī moduļa iegultās realizācijas pieeja, kas paredz apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeļa lietošanu datorizētās apmācības sistēmas adaptācijas

iespēju paplašināšanai. Šī pieeja ir nosaukta par „iegultās realizācijas” pieeju, jo tā var tikt izmantota ne tikai jauno adaptīvo datorizētās apmācības sistēmu izstrādei, bet arī esošo sistēmu pārbūvēšanai. Pārprogrammēšanas gadījumā ir jābūt esošās sistēmas pieejas kodiem vai programmas pirmtekstiem (tas ir atkarīgs no konkrētas tehniskās realizācijas).

2.5. attēlā ir attēlots izstrādātā moduļa iegultās realizācijas piemērs uz tradicionālās adaptīvās datorizētās apmācības sistēmas no [61] bāzes.



2.5. att. Apmācību sistēmas (ar duālo adaptāciju) paplašinātā shēma. Ar raustīto līnijas tipu ir apzīmētas saites, kas kalpo moduļa iebūvēšanai esošajā datorizētās apmācības sistēmā<sup>2</sup>

<sup>2</sup> APFS – Apmācāmā psihofizioloģisks stāvoklis

Iegultās realizācijas gadījumā psihofizioloģiskie dati no apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeļa tiek izmantoti apmācāmā domāšanas tipa un dominējošo uztveres kanālu noteikšanai, kas, savukārt, tiek lietoti mācību materiāla piegādes stratēģijas pārvaldībai („mācību materiāla piegādes optimizācijas algoritmā”). Tātad balstoties uz apmācāmā sākotnējās psihofizioloģiskās testēšanas rezultātiem, ir iespējams izvēlēties labāko mācību informācijas piegādes veidu konkrētajam apmācāmajam un realizēt mācību informācijas piegādi tā, lai tiktu iesaistīti šī apmācāmā dominējošie uztveres kanāli. Pie tam, apmācāmā domāšanas tipa un dominējošo uztveres kanālu noteikšana balstās uz objektīvas informācijas analīzes – apmācāmā fizioloģiskajiem raksturojumiem. Tas ievērojami paaugstina rezultātu ticamību salīdzinājumā ar psiholoģiskās testēšanas metodēm, kad rezultātus iegūst testa atbilžu analīzes procesā.

Balstoties uz kognitīvās psiholoģijas un cilvēka smadzeņu darbības pētījumiem [4, 8, 9, 20, 23, 32, 43, 48, 49, 62] tika secināts, ka:

- pirms sākt apmācību, ir nepieciešams noteikt apmācāmā domāšanas tipu, saskaņā ar viņa dominējošo galvas smadzeņu puslodi: kreiso – loģisko vai labo – „Gestalt” vai telpiski-tēlaino. Īpaši tas liekas svarīgi apmācāmajiem ar „Gestalt” dominanti, kuru apmācība pašlaik ir apgrūtināta, jo praktiski visas pieejamas mācību programmas tiek izstrādātas orientējoties uz apmācāmo ar loģisko domāšanas tipu.
- ir nepieciešams noteikt mācību informācijas dominējošos uztveres kanālus (kinestētisks, audiāls vai vizuāls), jo līdz 90% informācijas tiek apgūts ar dominējošā kanāla palīdzību.

Ņemot vērā augstākminēto, šajā darbā tiek piedāvāts moduļa iegultā realizācijā paplašināt datorizētās apmācības sistēmas adaptācijas iespējas, proti, paredzēt apmācāmā domāšanas tipa un informācijas uztveres dominējošo kanālu noteikšanu un ievērošanu mācību procesā. Apmācāmā domāšanas tipa un dominējošo uztveres kanālu noteikšanai piedāvātie algoritmi ir detalizēti aprakstīti 3.5.1. un 3.5.2. apakšnodaļās.

Tādejādi piedāvātā moduļa iegultā realizācija arī īsteno divu adaptācijas veidu apvienošanu – apmācāmā uzturēšanu apmācībai ieteicamajā psihofizioloģiskajā stāvoklī (apmācāmā adaptāciju) un mācību informācijas piegādes organizēšanu, saskaņā ar apmācāmā individuālajiem uztveres raksturojumiem (sistēmas adaptāciju). Pie kam, moduļa iegultā realizācijā ir paredzētas papildus funkcijas, pateicoties iespējai piekļūt datorizētās apmācību programmas kodolam.

## **2.4. Praktiskā realizācija un eksperimentālie pētījumi**

Balstoties uz 2. nodaļā doto teorētisko pamatojumu un 3. nodaļā izstrādāto modeļu un metožu aprakstu, promocijas darba 4. nodaļas ietvaros ir veikta piedāvāto modeļu un metožu praktiskā realizācija un eksperimentālā pārbaude.

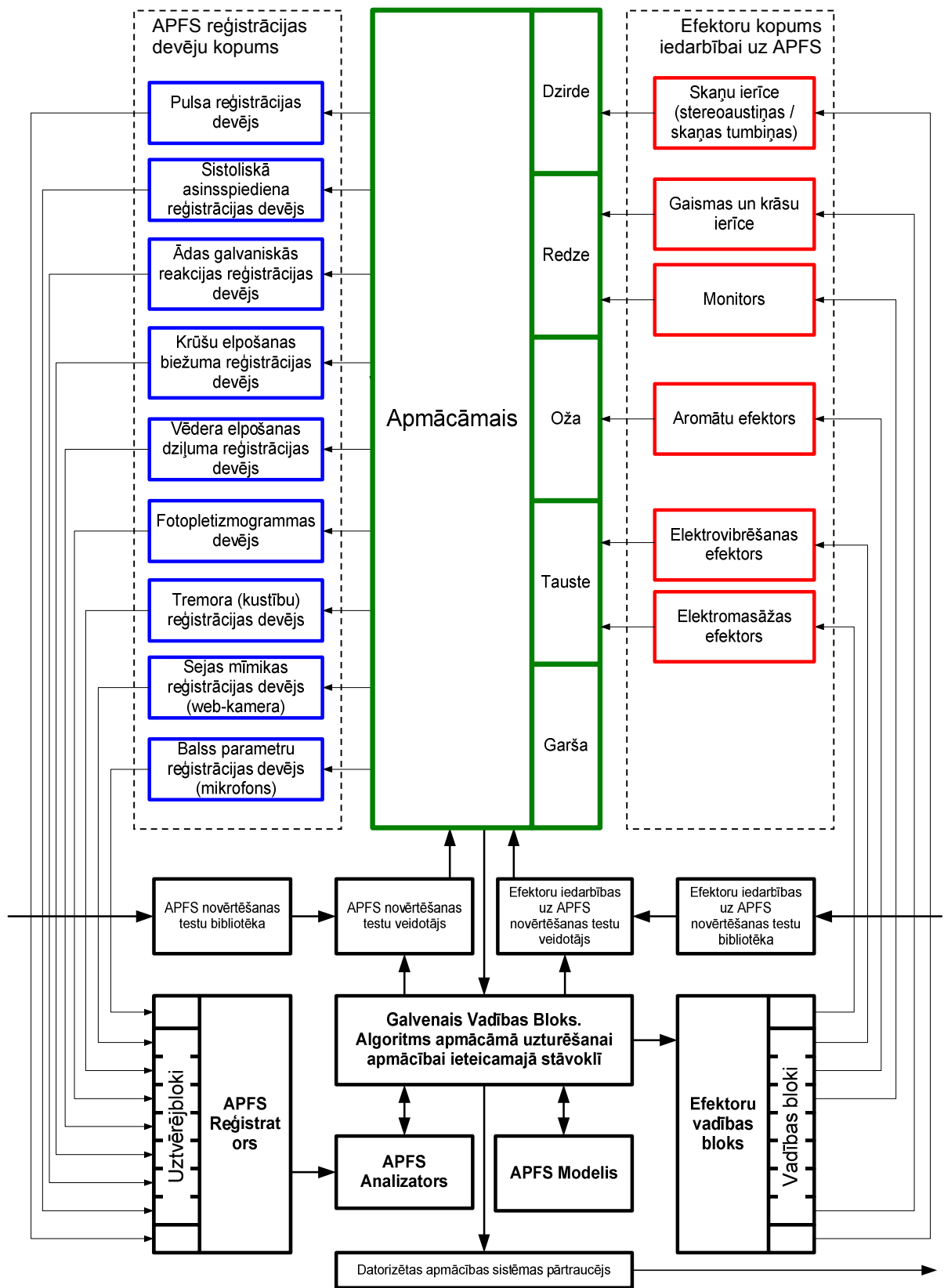
### **2.4.1. Moduļa prototips**

Promocijas darba ietvaros tika veikta piedāvātās pieejas apmācību organizācijai (ar duālo adaptāciju) eksperimentālā pārbaude. Šīs pārbaudes īstenošanai ir pietiekami realizēt izstrādāto metodi, modeli un algoritmus autonomā moduļa veidā.

Šajā sakarā tika izstrādāts moduļa autonomās realizācijas prototips atsevišķā aparatūrprogrammā kompleksa veidā.

Piedāvātā moduļa autonomā realizācija iekļauj (2.6. att.):

- 1) apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa monitoringa moduli, kas ietver:
  - psihofizioloģisko rādītāju reģistrācijas devējus;
  - signālu no devējiem uztvērējblokus (ar analogciparu pārveidotājiem);
  - psihofizioloģisko datu (no devējiem) apstrādes un analīzes programmas;
- 2) testēšanas moduli, kas ietver:
  - psihofizioloģiskā stāvokļa novērtēšanas un efektoru iedarbības testēšanas programmas un testus.
- 3) iedarbības realizācijas uz apmācāmo moduli, kas ietver:
  - efektoru komplektu, kas veic iedarbību uz apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli;
  - efektoru vadības blokus;
  - efektoru darbības analīzes un vadības programmas.



2.6. att. Izstrādātā moduļa autonomās realizācijas arhitektūra<sup>3</sup>

<sup>3</sup> APFS – Apmācāmā psihofizioloģisks stāvoklis



Izstrādātā apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldības moduļa prototipa darbības pamatfunkcijas ir sekojošas:

- 1) Apmācāmā sākotnējā testēšana, kuras procesā tiek noteiktas uztveres vai informācijas apstrādes ātruma funkcionālās atkarības visiem reģistrējamajiem katra apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa rādītājiem, lietojot izstrādāto metodi apmācībai ieteicāmā stāvokļa noteikšanai, kas ir piedāvāta promocijas darba 3.2.1. apakšnodaļā. Veikto eksperimentu apraksts un konstruēto tipveida grafiku kopa ir aprakstīta promocijas darba 4.3. apakšnodaļā.
- 2) Lietoto efektoru iedarbības uz apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli testēšana, kuras rezultātā tiek noteiktas funkcionālās atkarības, kas attēlo apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa rādītāju vērtību izmaiņu dažādu efektoru iedarbības procesā, saskaņā ar izstrādāto algoritmu (promocijas darba 3.2.2. apakšnodaļā). Veikto eksperimentu apraksts un konstruēto tipveida grafiku kopa ir atspoguļota promocijas darba 4.4. apakšnodaļā.
- 3) Apmācāmā psihofizioloģiskā modeļa būvēšana (promocijas darba 3.2. apakšnodaļa), balstoties uz datiem, kas tika iegūti augstākminēto 1. un 2. punktos testēšanas rezultātā.
- 4) Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa reālā laika monitorings mācību procesā, lietojot psihofizioloģisko reakciju reģistrācijas devēju komplektu (promocijas darba 4.2.2. apakšnodaļa).
- 5) Efektoru kompleksās iedarbības organizēšana uz apmācāmo ar mērķi uzturēt apmācībai rekomendējamo psihofizioloģisko stāvokli saskaņā ar apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldības metodi, kas ir piedāvāta 3.3. apakšnodaļā. Turklāt lietoto efektoru apraksts ir pieejams promocijas darba 4.2.3. apakšnodaļā.

Izstrādātā prototipa arhitektūras apraksts un struktūras shēma ir doti promocijas darba 4.1. apakšnodaļā. Moduļa sastāvdaļu tehniskās realizācijas apraksts ir detalizēti izklāstīts 4.2. apakšnodaļā. Eksperimentālo pētījumu veikšanai tika lietotas virtuālas un klasiskas mērierīces, bet eksperimentu veikšanas gaita pierādīja virtuālo mērierīču lietošanas ērtību un priekšrocības [38].

Lietoto psihofizioloģisko rādītāju reģistrācijas devēju tehniskais apraksts ir pieejams 4.2.2. apakšnodaļā. Devēju signālu pārraidei tika lietota bezvadu infrasarkanā (IR) datu pārraide. Ar mērķi novērst dažādu devēju izstarojošo gaismas diožu ietekmi uz citu devēju uztvērēju bloku fotodiodēm, tika pielietota dažādu frekvenču signālu modulācija. Visu devēju uztvērējbloki tika samontēti vienā korpusā – apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa (APFS) reģistratorā (2.6.

att.). Signālu devēju uztvērējbloku realizācijai tika lietoti programmējamie mikrokontrolleri, kas veica psihofizioloģisko datu apstrādi.

4.2.3. apakšnodaļa ir veltīta efektoru un to vadības bloku aprakstam. Efektoru vadības bloku realizācijai tika lietoti programmējamie mikrokontrolleri. Katra efektora – skaņas, vibrēšanas, elektromasāžas, aromātu un vizuālā – vadības bloks konstruktīvi ir izveidots shēmas plates veidā. Visas plates ir samontētas vienā korpusā – efektoru vadības blokā (2.6. att). Izstrādātā prototipa realizācijai tika piemēroti augstāk aprakstītie efektori. Šādi efektoru veidi ļāva praktiski īstenot komplekso iedarbību uz dažādiem apmācāmā uztveres kanāliem un sajūtu orgāniem. Visas efektoru komplekta atsevišķās komponentes ir piemērotas praktiskai lietošanai, pateicoties to pieejamībai un ekonomiskajai lietderībai. Tajā pašā laikā darbā piedāvātās pieejas apmācību organizēšanai ar duālo adaptāciju ietvaros var lietot arī citus izpildmehānismus.

Izstrādātais moduļa prototips ir paredzēts datorizētās apmācības sistēmu efektivitātes paaugstināšanai uz apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa adaptācijas pamata mācību informācijas labākai uztverei. Turklāt piedāvātās pieejas efektivitātes apliecinājumu varētu uzskatīt par pamatojumu datorizētās apmācību sistēmas (ar duālo adaptāciju) turpmākai realizācijai pēc moduļa iegultās versijas uzbūves principiem, izmantojot datorizētās apmācību sistēmas adaptācijas papildus funkcionālās iespējas.

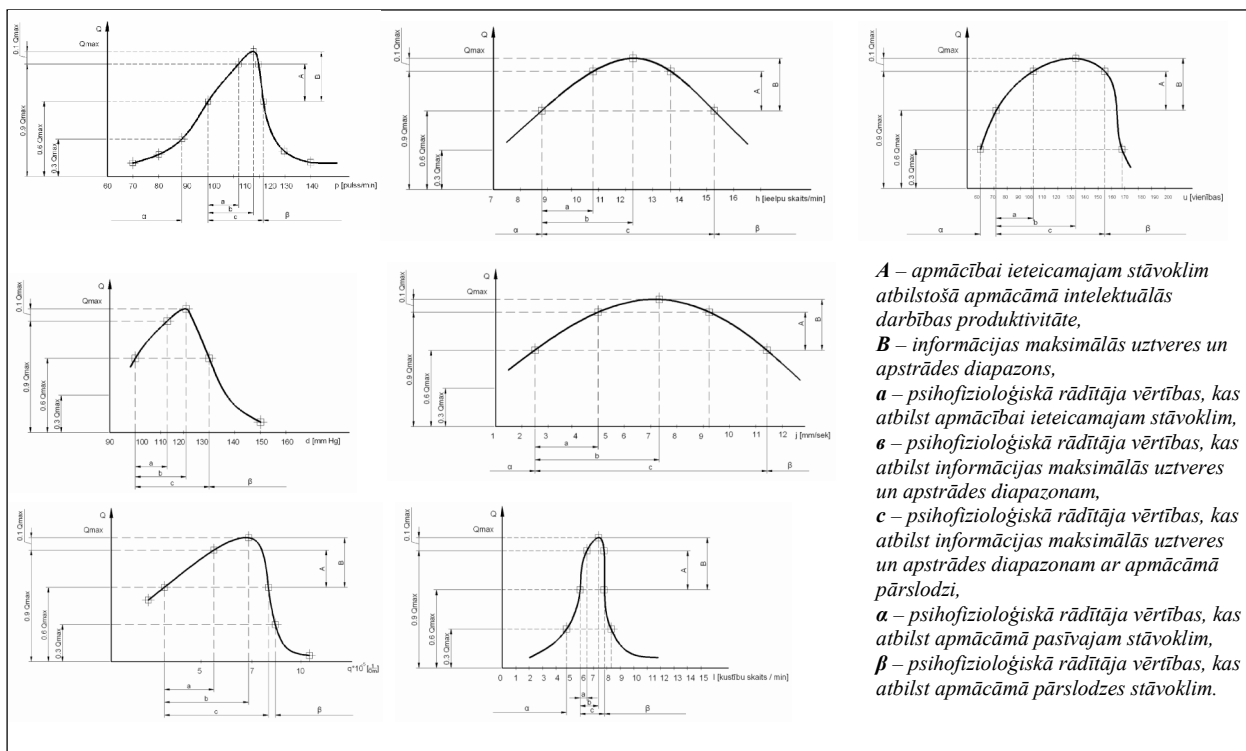
## 2.4.2. Eksperimentālie pētījumi

Psihofizioloģisko rādītāju reģistrācijas devēju kopums tika lietots promocijas darba 4.3. apakšnodaļā aprakstīto eksperimentālo pētījumu veikšanai.

Eksperimenta mērķis bija noteikt apmācāmā psihofizioloģisko rādītāju vērtības momentos, kad viņam ir labākie testēšanas rezultāti ar speciālo testēšanas programmu. Testēšanas programmās var tikt lietoti pieejamie tipveida testi, kas tiek izvēlēti atkarībā no datorizētās apmācības programmas priekšmetiskā apgabala. Apmācāmā darbības laikā ar testēšanas programmu viņa psihofizioloģisko rādītāju vērtības tika noņemtas ik pēc 30 sekundēm. Testēšanas rezultātā tika iegūta funkciju kopa  $Q$  [pareizo atbilžu (darbību) skaits/min]. Apmācāmā produktivitātes vai ražīguma (testēšanas pareizo atbilžu sniegšanas ātruma) atkarība no katra psihofizioloģiskā rādītāja izmaiņām:

$Q = f(p)$	<i>pulsam;</i>	$Q = f(j)$	<i>vēdera elpošanas dziļumam;</i>
$Q = f(d)$	<i>sistoliskajam asinsspiedienam;</i>	$Q = f(l)$	<i>motoriskajai aktivitātei;</i>
$Q = f(q)$	<i>ādas galvaniskajai reakcijai;</i>	$Q = f(u)$	<i>mikrokapilāru asinspiepildī-</i>
$Q = f(h)$	<i>krūšu elpošanas biežumam;</i>		<i>šanai.</i>

Neskatoties uz iegūstamo datu individualitāti, katram apmācāmajam ir noteiktas vispārīgas likumsakarības, kas ļauj attēlot tos ar tipveida grafiku palīdzību (2.7. att.).



2.7. att. Tipveida grafiki *Q*

Balstoties uz funkcionālo atkarību  $Q = f(p)$ ,  $Q = f(d)$ ,  $Q = f(q)$ ,  $Q = f(h)$ ,  $Q = f(j)$ ,  $Q = f(l)$ ,  $Q = f(u)$  veiktajiem pētījumiem var izdarīt vispārīgus secinājumus. Visos grafikos var izdalīt aktīvā nomoda (apmācībai ieteicamo stāvokli), pārslodzes un pasīvā stāvokļa diapazonus, attiecīgi grafikos tie ir apzīmēti ar burtiem – *e*, *β*, *α*. Tomēr par vairāk informatīviem tiek uzskatītas sekojošas atkarības:  $Q = f(p)$ ,  $Q = f(d)$ ,  $Q = f(q)$ ,  $Q = f(h)$ ,  $Q = f(l)$ ,  $Q = f(u)$ . Tādēļ tiek rekomendēts lietot tās apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa novērtēšanai.

Katra apmācāmā funkcionālajām atkarībām ir individuāls raksturs, jo tās attēlo katra apmācāmā personiskās īpašības. Tādēļ katram konkrētajam apmācāmajam kāda no šīm atkarībām var būt vairāk vai mazāk informatīva viņa psihofizioloģiskā stāvokļa novērtēšanai. Tādējādi apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa novērtēšanas rezultātu ticamības un drošuma palielināšanai ir jābūt pieejamiem pēc iespējas vairāk datiem par dažādu psihofizioloģisko raksturojumu izmaiņām informācijas uztveršanas un apstrādes procesā.

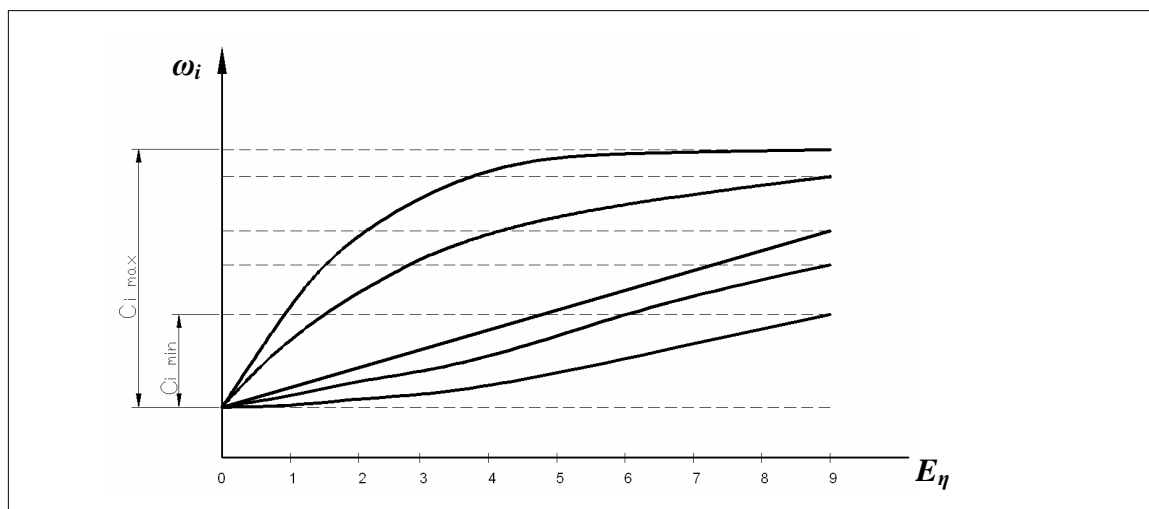
Testēšanas procesā iegūtā informācija tiek saglabāta apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa (APFS) modelī un tiek glabāta līdz nākamā testēšanas seansa rezultātu saņemšanai. Testēšanas veikšana, katru reizi pirms mācībām, paaugstina apmācāmā esošā

psihofizioloģiskā stāvokļa novērtēšanas ticamību. Testēšanai nav nepieciešams ilgs laika periods (aptuveni 5-10 minūtes, atkarībā no izvēlētā testa), jo testēšanas laikā vienlaicīgi tiek reģistrētas visu psihofizioloģisko raksturojumu vērtības.

Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldības eksperimentālie pētījumi ir aprakstīti promocijas darba 4.4. apakšnodaļā.

Katram apmācāmajam ir individuāls dominējošo uztveres kanālu raksturs, tāpēc ir nepieciešams veikt dažāda tipa efektoru iedarbības testēšanu uz apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli. Šajā darbā tika veikti sekojošu efektoru iedarbības uz apmācāmo eksperimentālie pētījumi: elektrovibrēšanas ( $E_1$ ), skaņas ( $E_2$ ), aromātu ( $E_3$ ), elektromasāžas ( $E_4$ ) un vizuālā efekta ( $E_5$ ). Pētījumu mērķis bija noteikt dažāda tipa efektoru iedarbības efektivitāti uz vairāku apmācāmo psihofizioloģisko raksturojumu ( $\omega_i$ ) vērtību izmaiņām.

Testēšanas procesā iegūtie dati tika pārveidoti funkcionālo atkarību kopā, balstoties uz 3.4. nodaļā aprakstīto algoritmu. Iegūto funkcionālo atkarību raksturs ir individuāls katram apmācāmajam, tomēr vispārīgajā gadījumā tas atbilst tipveida grafikiem (2.8. att.).



2.8. att. Iegūtās funkcionālo atkarību kopas tipveida grafiki

Ekspertu rezultāti apliecināja hipotēzi par iespēju pārvaldīt apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldību ar papildus ierīču – efektoru palīdzību.

### 2.4.3. Didaktiskās efektivitātes novērtēšanas eksperimenti

Darbā izvirzītās hipotēzes pierādījumam, piedāvāto modeļu un metožu datorizēto apmācību sistēmu efektivitātes paaugstināšanas pārbaudei un apliecināšanai, tika veikti didaktiskie eksperimenti.

### **Eksperimentu mērķis:**

Veikto eksperimentu pamatmērķis ir piedāvātās pieejas apmācības organizēšanai (ar duālo adaptāciju) efektivitātes apliecināšana, ieskaitot izstrādātās realizācijas metodes, algoritmus un apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeli.

Eksperimentālās pārbaudes gaitā tika veikta datorizētās apmācības didaktiskās efektivitātes salīdzināšana pēc vienas un tās pašas apmācības programmas ar un bez izstrādātā prototipa lietošanas. Ņemot vērā, ka tika izstrādāts moduļa autonomās realizācijas prototips, to var izmantot kopā ar esošajām datorizētās apmācības sistēmām. Tādejādi apliecinot didaktiskās efektivitātes paaugstinājumu sakarā ar izstrādātā moduļa autonomās realizācijas prototipa lietošanu datorizētās apmācības procesā, var secināt ne tikai par piedāvātās pieejas ar duālo adaptāciju lietderību jauno datorizētas apmācības sistēmu izstrādāšanai, bet arī par esošo datorizētās apmācības sistēmu efektivitātes paaugstināšanu īsos laika termiņos un bez ievērojamiem materiāliem izstrādes izdevumiem.

**Eksperimentu metodika:** ir didaktiskais eksperiments divās apmācāmo grupās: kontroles un eksperimentālajā [37, 39]. Tātad tiek veikta datorizētās apmācības rezultātu salīdzinošā analīze divās grupās, kad pirmās grupas dalībnieki tiek apmācīti ar noteikto datorizētās apmācības programmu bez izstrādātā prototipa lietošanas, bet otrās grupas dalībnieki tiek apmācīti ar to pašu datorizētās apmācības programmu ar izstrādāto prototipu.

Eksperimentos realizētās efektivitātes novērtēšanas pieejas pamatā ir metodika no [51].

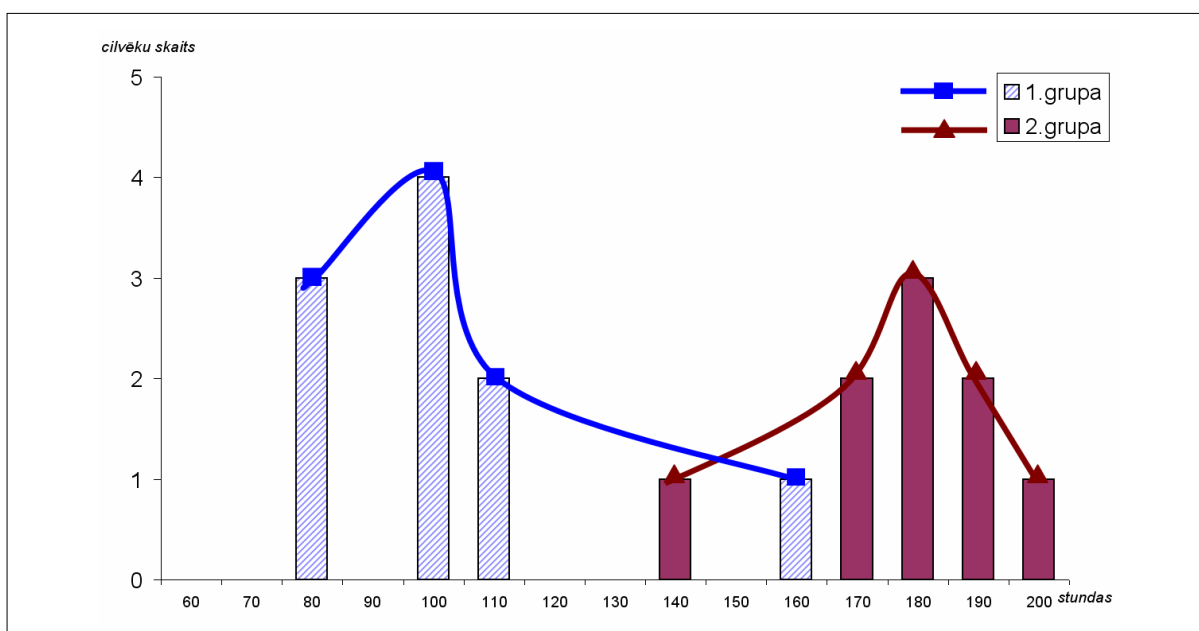
### **Eksperimentu apraksts:**

Eksperimentiem tika izvēlētas noteiktas datorizētas apmācības kursu programmas divos priekšmetiskajos apgabalos. Eksperimentu gaitā tika salīdzināti rezultāti divās dalībnieku grupās, kas tika apmācīti ar izvēlētām datorizētas apmācības programmām, lietojot izstrādāto moduļa autonomās realizācijas prototipu (eksperimentālā grupa) un bez prototipa lietošanas (kontroles grupa). Tātad, eksperimentos par salīdzinājuma bāzi kalpoja tie paši datorizētas apmācības kursi, tikai bez izstrādātā prototipa lietošanas.

Tika veikta sekojošu eksperimentu sērija:

- jaunas svešvalodas apmācībai ar interaktīvo multimediju datorizētas apmācības programmu (2008. gada februāris – aprīlis, Rīgas ZRF „Elektrotehnoloģija”, franču valoda, 19 cilv.);
- pielietojumprogrammu apmācības operētājsistēmā Windows ar datorizētas apmācības programmām un videomateriāliem (2008. gada jūlijs – augusts, „Computer Science Centre” Kipra (Limassol), Windows lietojumprogrammas, 35 cilv.);

Pirmās sērijas eksperimenti tika veikti pieaugušo cilvēku grupās, kas bija ieinteresēti iemācīties jaunu svešvalodu. Pamatnoteikums, lai piedalītos eksperimentos, bija šīs svešvalodas sākotnējo zināšanu pilnīgs trūkums. Tas ļāva patvaļīgi sadalīt cilvēkus divās grupās, neveicot dalībnieku sākotnējā zināšanu līmeņa testēšanu. Eksperimentā kopumā piedalījās 19 cilvēki, no kuriem 10 sastādīja eksperimentālo grupu un 9 – kontroles grupu. Visi eksperimenta dalībnieki franču valodas apmācībai lietoja multimediju interaktīvo datorizētās apmācības kursu „*Tell me More. French*”. Nodarbības tika organizētas individuālā kārtībā, jo bija pieejama tikai viena, ar izstrādāto sistēmu aprīkota darba vieta. Katrs eksperimenta dalībnieks mācījās piedāvāto kursa daļu līdz noteikta zināšanu līmeņa sasniegšanai, kas tika novērtēts ar zināšanu vērtēšanas testu. Izvēlētajās kursa daļas apgūšanai bija paredzēts maksimāls nodarbību skaits – 10 nodarbības, katra 2 stundu ilgumā. Par darbā piedāvātās sistēmas didaktiskās efektivitātes novērtēšanas un salīdzināšanas kritēriju tika izvēlēts kopējais apmācības laiks līdz noteikta zināšanu līmeņa sasniegšanai, proti, rezultāta – ne mazāk par 80% pareizo atbilžu zināšanu novērtēšanas testā (2.9. att.).



2.9. att. 1. sērijas eksperimenta rezultātu grafisks attēlojums. Vērtību sadalījuma pa grupām histogrammas

Ar mērķi pārbaudīt darbā piedāvātās pieejas efektivitāti citā zināšanu nozarē, pēc augstāk aprakstītās metodikas, tika veikti eksperimenti ar datorizētās apmācības sistēmām, kas ir paredzētas apmācībai darbam ar lietojumprogrammām Windows vidē. Veikto eksperimentu rezultāti ir apstiprināti ar ieviešanas aktiem, kas ir pieejami 1. un 2. pielikumos.

Eksperimentu rezultātu analīze liecina par darbā piedāvātās pieejas apmācības organizēšanai ar duālo adaptāciju didaktisko efektivitāti, ieskaitot pieejas ietvaros izstrādātās tās realizācijas metodes, algoritmus un apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeli. Veikto didaktisko eksperimentu rezultāti apliecināja iespējamību ievērojami paaugstināt esošo datorizētās apmācības sistēmu efektivitāti, pateicoties izstrādātā moduļa autonomās realizācijas pieejas lietošanai datorizētas apmācības procesā.

Pateicoties kopējā apmācību laika saīsināšanai, mācību process kļūst pievilcīgāks apmācāmajiem, kā arī paaugstinās apmierinājuma līmenis par iegūtajiem mācību rezultātiem. Sociālais efekts no piedāvātās sistēmas lietošanas tika apliecināts ar eksperimenta dalībnieku anketēšanas palīdzību.

### **3. PROMOCIJAS DARBA GALVENIE REZULTĀTI UN SECINĀJUMI**

Promocijas darba galvenais teorētiskais rezultāts ir jauna pieeja datorizētās apmācības organizēšanai ar duālo adaptāciju, modeļi un metodes tās realizācijai. Piedāvātā pieeja ir nozīmīga un aktuāla datorizētās apmācības pilnveidošanai, jo sekmē paātrinātu zināšanu apguvi un ļauj samazināt mācību procesa izdevumus.

Jaunā pieeja datorizētās apmācības organizēšanai ar duālo adaptāciju nozīmē, ka tiek īstenota ne tikai datorizētās sistēmas adaptācija atbilstoši apmācāmā individuālajām īpatnībām, bet arī paša apmācāmā adaptācija datorizētās apmācības sistēmai. Jaunā pieeja balstās uz izstrādātu apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeli un šī stāvokļa noteikšanas un pārvaldības metodēm. Tas ļauj ievērojami paaugstināt datorizētās apmācības efektivitāti, pateicoties apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa ievērošanai datorizētās apmācības procesā un pārvaldības organizēšanai, ar mērķi sasniegt un uzturēt apmācībai ieteicamo stāvokli.

Promocijas darbā ir iegūti sekojoši teorētiskie rezultāti:

1. Ir izstrādāta datorizētās apmācības sistēmas ar duālo adaptāciju struktūras shēma. Tiek parādīts, ka apmācāmā adaptācija var tikt īstenota, paplašinot tradicionālo adaptīvo apmācību sistēmu ar apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldības moduli. Šis modulis ietver sevī apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa monitoringu ar speciālo „biofeedback” tipa devēju palīdzību, apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeli un pārvaldošās ārējas iedarbības organizēšanu uz apmācāmo ar speciālo efektoru palīdzību.

2. Ir izstrādāts apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modelis, kā arī šī modeļa komponentu uzbūves metodes un algoritmi:
  - Modeļa komponentes uzbūvei, kas raksturo apmācībai ieteicamo psihofizioloģisko stāvokli, ir izstrādāta metode un algoritms šī stāvokļa raksturojošo apmācāmā psihofizioloģisko rādītāju vērtību diapazona noteikšanai.
  - Modeļa komponentes uzbūvei, kas raksturo apmācāmā psihofizioloģisko stāvokli pārvaldošo efektoru ietekmes pakāpi, ir izstrādāts algoritms apmācāmā psihofizioloģisko rādītāju vērtību izmaiņu noteikšanai efektoru iedarbības procesā.
3. Ir piedāvāta pieeja apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa efektīvai pārvaldībai datorizētās apmācību sistēmās, balstoties uz izstrādāto apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeli un optimizācijas metodēm. Tas ļauj maksimāli ātri sasniegt apmācībai ieteicamo stāvokli, kas sekmē paātrinātu zināšanu apguvi, paaugstinot mācību informācijas uztveres un apstrādes ātrumu.
4. Piedāvātās pieejas realizācijai ir izstrādāti datorizētās apmācību sistēmas speciālā moduļa uzbūves principi. Ir izstrādātas divas pieejas šī moduļa realizācijai: autonomās realizācijas pieeja (t.i. paredz moduļa realizāciju neatkarīgi no datorizētās apmācību sistēmas) un iegultās realizācijas pieeja, kas ir paredzēta esošo datorizētās apmācības sistēmu paplašināšanai (pārbūvēšanai) vai jauno datorizētās apmācības sistēmu projektēšanai un uzbūvei.
  - Autonomās realizācijas pieejas galvenā priekšrocība ir izstrādātā moduļa lietošanas iespēja jebkurai jau eksistējošai datorizētās apmācības sistēmai bez šīs sistēmas pārbūves. Tāda pieeja ļauj paaugstināt esošo datorizētās apmācības sistēmu efektivitāti, sasniedzot ne tikai pozitīvu didaktisko, bet arī būtisko ekonomisko efektu.
  - Jaunas datorizētās apmācību sistēmas projektēšanai un realizācijai ir izstrādāta moduļa iegultās realizācijas pieeja, kas ļauj īstenot datorizētās apmācības sistēmas (ar duālo adaptāciju) ar funkcionālām papildiespējām.
5. Moduļa iegultās realizācijas pieeja paredz izstrādātā apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeļa lietošanu apmācāmā domāšanas tipa un dominējošo uztveres kanālu noteikšanai. Tas ļauj īstenot datorizētās apmācības sistēmas adaptāciju, proti, mācību informācijas piegādes stratēģiju, saskaņā ar apmācāmā uztveres individuālajām īpatnībām. Šīs pieejas ietvaros ir izstrādātas apmācāmā domāšanas tipa un dominējošo uztveres kanālu noteikšanas metodes.



Promocijas darbā ir iegūti sekojoši praktisko un eksperimentālo pētījumu rezultāti:

1. Balstoties uz izstrādātajiem modeļiem un metodēm ir veikta moduļa autonomās realizācijas prototipa izstrāde. Izstrādātā prototipa aprobēšana un ieviešana ir realizēta sadarbībā ar LR ZRF „Elektrotehnoloģija” (Latvija) un „Computer Science Centre” (Kipra).
2. Veikto eksperimentālo pētījumu rezultātā ir iegūts darbā izvirzīto hipotēžu, kā arī piedāvāto modeļu, metožu un algoritmu apliecinājums.
3. Moduļa autonomās realizācijas prototipa didaktiskās efektivitātes novērtēšanas eksperimenti parādīja ievērojamu efektivitātes paaugstinājumu salīdzinot ar datorizētās apmācības veikšanu bez piedāvātās jaunās pieejas (t.i. eksperimentos – bez izstrādātā prototipa). Veikto eksperimentu rezultāti apliecināja iespējamību ievērojami paaugstināt esošo datorizētās apmācības sistēmu efektivitāti. Tātad moduļa autonomās realizācijas pieeja ir perspektīva gan no didaktiskās, gan no ekonomiskās efektivitātes viedokļa, jo paredz piedāvātā moduļa lietošanu ar dažādām jau izstrādātām datorizētās apmācības sistēmām.

Turpmāko pētījumu virzieni ietver:

- Izstrādātās datorizētās apmācību sistēmas ar duālo adaptāciju paplašinātā modeļa turpmāko attīstību un tās pielāgošanās iespēju izpēti citām datorizētās apmācības sistēmām (pirmkārt tām, kas tiek izstrādātas un pašlaik lietotas RTU katedrās).
- Moduļa tehniskā aprīkojuma pilnveidošanu efektīvākai apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pārvaldībai, kas ietver apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa reģistrācijas devēju pārbūvēšanu ērtākai lietošanai vai citu sensoru lietošanas iespēju izpēti, kā arī efektīvāko efektoru iedarbības veidu un iespēju izpēti.
- Apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa pareģošanas algoritmu izstrāde, balstoties uz izstrādāto apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa modeli ar mērķi samazināt sistēmas reakcijas laiku uz apmācāmā psihofizioloģiskā stāvokļa izmaiņām.
- Piedāvātās pieejas lietošanas iespēju izpēti „uz sadarbību balstītās” elektroniskās apmācības sistēmu projektēšanai (saskaņā ar 2.3.3. apakšnodaļā formulētajām idejām).
- Piedāvātās pieejas turpmākā attīstība tehniskajām sistēmām, kas tiek būvētas uz imitācijas modelēšanas un virtuālās realitātes metožu pamata, sadarbībā ar vienu no Eiropas vadošajiem pētījumu centriem, proti, „Virtual Development and Training Centre” (centra vadītājs Dr. E.Blümel, Fraunhofera institūts IFF, Vācija).

## 4. DARBA APROBĀCIJA

Promocijas darba rezultāti ir izmantoti Eiropas Komisijas finansēto 6. Ietvarprogrammas trīs starptautisko projektu, kā arī divu Latvijas Zinātņu Padomes (LZP) projektu izpildes gaitā.

Par promocijas darba galvenajiem rezultātiem ir nolasīti 16 referāti starptautiskās un Latvijas mēroga konferencēs, kā arī ir publicēti 14 zinātniskie raksti.

### 4.1. Publikācijas

Promocijas darba ietvaros veikto pētījumu rezultāti ir atspoguļoti sekojošās publikācijās:

1. **Rikure T.**, Jurenoks A. Wireless Network Technologies in Transport Area: Security and eLearning Applications // Proceedings of the International Conference IVETTA – Innovative Vocational Education and Training in the Transport Area, 24-25 February, 2005, Riga, Latvia, ISBN: 9984-9820-0-9. – pp. 249-255.
2. **Rikure T.** Intelligent Tutoring Systems // Proceedings of IST4Balt International workshop “IST 6th Framework Programme – Great opportunity for cooperation & collaboration”, 6-7 April, 2005, Riga, Latvia, ISBN 9984-32-178-9. – pp. 35-40.
3. Novickis L., **Rikure T.**, Šitikovs V. Collaborative e-Learning and model-based training methodology in logistics information systems // Annual Proceedings of Vidzeme University College “ICTE in Regional Development”, Valmiera, Latvia, 2005, ISBN: 9984-633-01-2. – pp. 67-71.
4. **Rikure T.**, Jurenoks A., Latiševa E. Wireless network technologies: security and e-learning applications // Scientific Proceedings of Riga Technical University, Computer Science, Applied Computer Systems, Rīga: RTU, 2005, ISSN: 1407-7493. – pp. 140-148.
5. **Rikure T.**, Novickis L. Web-based Intelligent Tutoring Systems for Collaborative Learning // Annual Proceedings of Vidzeme University College “ICTE in Regional Development”, Valmiera, Latvia, 2006, ISBN: 9984-633-03-9. – pp. 9-12.
6. **Rikure T.**, Novickis L. Computer-based Training Courses in Maritime & Transport Logistics Area // Scientific Proceedings of the Project eLOGMAR-M „IT&T Solutions in Logistics and Maritime Applications”, Rīga: Jumi, 2006, ISBN: 9984-30-119-2. – pp. 157-166.

7. **Rikure T.**, Novickis L. Quality Evaluation methodologies for e-Learning systems (in frame of the EC Project UNITE) // Starptautiskā projekta IST4Balt rakstu krājums „News Journal vol.2. (Proceedings of the IST4Balt Workshop)”, 2006, ISSN: 1816-8701. – pp. 30-35.
8. **Rikure T.**, Novickis L. Evaluation of the e-Learning Applications and Systems // Scientific Proceedings of Riga Technical University, Computer Science, Applied Computer Systems, Rīga: RTU, 2007, ISSN 1407-7493. – pp. 104-112.
9. Jurenoks A., **Rikure T.**, Novickis L, Sitikovs.V. e-Learning environment implementation in Riga 3rd secondary school // Starptautiskā projekta IST4Balt rakstu krājums „IST4Balt News Journal vol.3.”, 2007, ISSN 1816-8701. – pp. 29-30.
10. **Rikure T.**, Novickis L. Studying of the learner psychophysiological behaviour in Human-Computer Interaction // Annual Proceedings of Vidzeme University College „ICTE in Regional Development”, Valmiera, Latvija, 2007, ISBN 9984-633-10-1, pp. 83-87.
11. Sitikovs V., Lavendels J., Novickis L., **Rikure T.**, Krauklis K. Implementation of eLearning to different target groups (case study of sequential projects) // RTU zinātniskie raksti, sērija Datorzinātne, Lietišķās datorsistēmas (pieņemts publicēšanai).
12. **Rikure T.**, Novickis L. Psychophysiological Signal processing for Building a User Model in Adaptive e-Learning Systems // Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Cellular and Molecular Biology, Biophysics and Bioengineering (BIO'08), 2008, ISSN: 1790-5125, ISBN: 978-960-474-036-9, pp. 122-125.
13. **Rikure T.** Building a Learner Psychophysiological Model Based Adaptive e-Learning System: a General Framework and its Implementation // “Intelligent Educational Systems and Technology-enhanced Learning (INTEL-EDU)” Workshop in the frame of International Scientific Conference “Advances in Databases and Information Systems (ADBIS 2009)”, Rīga, Latvija, 2009 (pieņemts publicēšanai).
14. **Rikure T.**, Novickis L. Adaptive e-Learning Systems with a Model of a Learner's Psychophysiological State // 49th Annual meeting of the International Society for Psychophysiological Research, Berlīne, Vācija, 2009 (iesniegts redkolēģijā).

## 4.2. Uzstāšanās konferencēs

Promocijas darba rezultāti tika prezentēti 16 zinātniskajās konferencēs:

1. Rīgas Tehniskās universitātes 45. starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, 15. oktobris, 2004.

2. RTU 45. studentu zinātniskā konference, Rīga, 19. aprīlis, 2004.
3. Starptautiskā konference IVETTA (Innovative Vocational Education and Training in Transport Area), Rīga, 25. februāris, 2005.
4. Starptautiskais seminārs „IST 6th Framework programme - great opportunity for cooperation and collaboration” konferences „Baltic IT&T 2005” ietvaros, Rīga, 6-8. aprīlis, 2005.
5. RTU 46. studentu zinātniskā konference, Rīga, 22. aprīlis, 2005.
6. Starptautiskā konference „Baltic Studies in Europe”, Valmiera, 17-19. jūnijs, 2005.
7. RTU 46. starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, 13.-15. oktobris, 2005.
8. Starptautiskais seminārs „Participation in IST at the Edge of 6th and 7th Framework Programmes” konferences „Evolving Mobile Europe” ietvaros, Viļņa, Lietuva, 24-25. oktobris, 2005.
9. Starptautiskā konference „Transport and Logistics in International Trade. Information Technologies”, Tallina, Igaunija, 8-9. decembris, 2005.
10. Starptautiskais seminārs „Towards a Knowledge Society” konferences „Baltic IT&T 2006” ietvaros, Rīga, 7. aprīlis, 2006.
11. Starptautiskais seminārs „Baltic ICT community on the way to FP7”, Laagri, Igaunija, 29-30. jūnijs, 2006.
12. RTU 47. starptautiskā zinātniskā konference, Rīgā, 12-14. oktobris, 2006.
13. Starptautiskais seminārs „Towards an Information Society in the Baltic States” konferences „Baltic IT&T 2007” ietvaros, Rīga, 18. aprīlis, 2007.
14. RTU 48. starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, 11.-13. oktobris, 2007.
15. RTU 49. starptautiskā zinātniskā konference, Rīgā, 13-15. oktobris, 2008.
16. Starptautiskās konferences „The World Scientific and Engineering Academy and Society International Conferences: 4th WSEAS International Conference on Cellular and Molecular Biology, Biophysics and Bioengineering (BIO'08) and 7th WSEAS International Conference on Circuits, Systems, Electronics, Control & Signal Processing (CSECS'08)”, Puerto De La Kruza, Spānija, 15.-17. decembris, 2008.

### **4.3. Projekti**

Promocijas darba rezultāti ir izmantoti Eiropas Komisijas finansēto 6. Ietvarprogrammas sekojošo starptautisko projektu izpildes gaitā:

- IST4Balt (Information Society Technologies Promotion in Baltic States), 2004 - 2007.

- eLOGMAR-M (Web-based and Mobile Solutions for Collaborative Work Environment with Logistics and Maritime Applications), 2004 - 2006.
- UNITE (Unified e-Learning Environment for the School), 2006 - 2008.

Promocijas darba rezultāti (Adaptīvo datorizētās apmācības sistēmu uzbūves metodes) ir izmantoti arī sekojošo Latvijas Zinātņu Padomes (LZP) projektu izpildes gaitā:

- 05.1655 „Uz tīmekļa tehnoloģijām balstītā integrētā lietišķā programmatūra”, 2005-2008.
- 09.1269 „Uz izkļaidētā mākslīgā intelekta un tīmekļa tehnoloģijām balstītas intelektuālās lietišķās programmatūras izstrāde”, 2009-2012.

## 5. LITERATŪRA<sup>4</sup>

1. Adaptive e-Learning with Eye Tracking: AdeLE Project web-site / Internets. - <http://adele.fh-joanneum.at>
2. Advanced sensor development for attention, stress, vigilance & sleep-wakefulness monitoring: SENSATION Project web-site / Internets. - <http://www.sensation-eu.org/>
3. Belardinelli C., Bluemel E., Muller G., Schenk M. Making the virtual more real: research at the Fraunhofer IFF Virtual Development and Training Centre // Cognitive Processing, Springer Berlin/Heidelberg, 2008. - Nr.3. - pp. 217-224.
4. Brain research and learning sciences: a report / Internets. - <http://www.oecd.org/dataoecd/57/49/23452767.pdf>
5. Cassel J. A Framework for gesture generation and interpretation // R.Cipolla&A.Pentland (Eds.), Computer Vision for Human-Machine Interaction, Cambridge University Press, 1998. - pp. 37-40.
6. Clark R., Mayer R. e-Learning and the Science of Instruction: proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning. - San Francisco: Jossey-Bass/Pfeiffer, 2003. - 336 p.
7. D’Mello S.K., Craig S.D., Gholson B. et.al. Integrating Affect Sensors in an Intelligent Tutoring System // Affective Interactions: The Computer in the Affective Loop Workshop at 2005 International Conference on Intelligent User Interfaces. - New York: AMC Press, 2005. - pp. 7-13.

---

<sup>4</sup> Kopsavilkumā ir saīsināts literatūras saraksts. Promocijas darba bibliogrāfiskajā sarakstā ir 277 avoti.

8. DeBello T.C. Comparison of Eleven Major Learning Styles Models: Variables, Appropriate Populations, Validity of Instrumentation and the Research Behind them // Journal of Reading, Writing, and Learning Disabilities. - 1990. - Nr.6. - pp. 203-222.
9. DiSessa A. Changing Minds: computers, learning, and literacy. - Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2000. - 293 p.
10. Duchowsky T. Eye Tracking Methodology: Theory & Practice. - London: Springer, 2003. - 252 p.
11. Ekman P. Strong evidences for universals in facial expressions: A reply to Russel's mistaken critique // Psychological Bulletin. - 1994. - Nr.115(1). - pp. 268-286.
12. Emotion and Computing – Current Research and Future Impact. (Eds.) Reichardt D., Levi P., 2006 / Internets. - <http://www.lehre.ba-stuttgart.de/~reichard/workshop/emotion-and-computing-2006.pdf>
13. European Commission: Education and Training / Internets. - <http://ec.europa.eu/education/>
14. European Commission: the FP7 ICT Work Programme / Internets. - <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/programme/>
15. Fasel B., Luettin J. Automatic facial expression analysis: A survey // Pattern Recognition. - 2003. - Nr.36(1). - pp. 259-275.
16. Goldin-Meadow S., Singer M.A. From children's hands to adult's ears: Gesture's role in the learning process // Development Psychology. - 2003. - Nr.39(3). - pp. 509-520.
17. Grundspenķis J., Novickis L., Osis J., Ņitikovs V. Intelektuālo sistēmu projektēšana. - Rīga: RTU, 1997. - 63 lpp.
18. Gütl Ch. et.al. AdeLE (Adaptive e-Learning with Eye-Tracking): Theoretical Background, System Architecture and Application Scenarios / Internets. - [http://www.eurodl.org/materials/contrib/2005/Christian\\_Gutl.htm](http://www.eurodl.org/materials/contrib/2005/Christian_Gutl.htm)
19. Hager J.C., Ekman P. Essential behavioral science of the face and gesture that computer scientists need to know // Proceedings of the International workshop on automatic face and gesture recognition, Zurich, 1995. - pp. 7-11.
20. Hannaford C. The Dominance Factor: How Knowing Your Dominant Eye, Ear, Brain, Hand and Foot Can Improve Your Learning. - Great Ocean Publishers,U.S. 1997. - 144 p.
21. Inanoglu Z., Caneel R. Emotive alert: HMM-based emotion detection in voicemail messages // Proceedings of the 10th international conference on Intelligent user interfaces, 2005. - pp. 251-253.

22. Inbar G. F., Eden G. Psychological stress evaluators: EMG correlation with voice tremor // *Biological Cybernetics*, Springer Berlin-Heidelberg. - 1976. - Volume 24. - Nr.3. - pp. 165-167.
23. Jensen E.P. A Fresh Look at Brain-based Education // *Phi Delta Kappan*. - 2008. - Vol. 89. - No. 6. - pp. 408-417.
24. Kahneman D., Beatty J. Pupil diameter and load on memory // *Science*. - 1966. - Nr.154. - pp. 1583-1585.
25. Karamouzis S. The use of Psychophysiological Measures for Designing Adaptive Learning Systems // *IFIP Interenational Federation for Information Processing*, Vol. 204., *Artificial Intelligence Applications and Innovations*, eds. Maglogiannis I., Karpouzis K., Bramer M., Boston:Springer, 2006. - pp. 417-424.
26. Lauberte I., Ginters E., Novitsky L. Agent-Based Simulation Use in Applicant's Character Recognition // *Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Educational Technologies (EDUTE'08)*, Corfu, Greece, 26-28 October 2008, ISSN: 1790-5109. - pp. 116-121.
27. Lisetti C.L., Nasoz F. Using noninvasive wearable computers to recognize human emotions from physiological signals // *EURASIP Journal on Applied Signal Processing* 11, 2004. - pp. 1672-1687.
28. McQuiggan S.W., Lee S., Lester J.C. Predicting User Physiological Response for Interactive Environments: An Inductive Approach // *Proceedings of the 2nd Artificial Intelligence for Interactive Digital Entertainment Conference*, 2006. - pp. 60-65.
29. Montepare J., Koff E., Ziatchik D. et. al. The use of body movements and gestures as cues to emotions in younger and older adults // *Journal of Nonverbal Behavior*. - 1999. - Nr.23(2). - pp. 133-152.
30. Nikitenko A. Hybrid Intelligent System development and implementation (Hibrīdas intelektuālas sistēmas izstrādāšana un realizācija). Promocijas darbs. - Rīga: RTU, 2006.
31. Nkambou R. Towards Affective Intelligent Tutoring System // *Proceedings of the Workshop on Motivational and Affective Issues in ITS*, 8th International Conference on ITS 2006, 2006. - pp. 5-12.
32. O'Connor J., Seymour J. *Introducing NLP Neuro-Linguistic Programming*. - Thorsons, 2003. - 272 p.
33. Pantic M., Rothkrantz L.J.M. An expert system for multiple emotional classification of facial expressions // *IEEE International conference on Tools with Artificial Intelligence*. Chicago, 1999. - pp. 113-120.

34. Picard R. W. Affective Computing. - Cambridge, Mass: MIT Press, 1997. - 275 p.
35. Pivec M. et. al. Eye-Tracking Adaptable e-Learning and Content Authoring Support / Internets. - [http://www.informatica.si/PDF/30-1/07\\_Pivec-Eye-Tracking%20Adaptable%20e-Learning%20and...pdf](http://www.informatica.si/PDF/30-1/07_Pivec-Eye-Tracking%20Adaptable%20e-Learning%20and...pdf)
36. Rikure T. Intelligent Tutoring Systems // Proceedings of IST4Balt International workshop “IST 6th Framework Programme – Great opportunity for cooperation & collaboration”, 6-7 April, 2005, Riga, Latvia, ISBN 9984-32-178-9. – pp. 35-40.
37. Rikure T., Novickis L. Evaluation of the e-Learning Applications and Systems // Scientific Proceedings of Riga Technical University, Computer Science, Applied Computer Systems, Rīga: RTU, 2007, ISSN 1407-7493. - pp. 104-112.
38. Rikure T., Novickis L. Psychophysiological Signal processing for Building a User Model in Adaptive e-Learning Systems // Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Cellular and Molecular Biology, Biophysics and Bioengineering (BIO'08), 2008, ISSN: 1790-5125, ISBN: 978-960-474-036-9. - pp. 122-125.
39. Rikure T., Novickis L. Quality Evaluation methodologies for e-Learning systems (in frame of the EC Project UNITE) // Starptautiskā projekta IST4Balt rakstu krājums „News Journal vol.2. (Proceedings of the IST4Balt Workshop)”, 2006, ISSN: 1816-8701. - pp. 30-35.
40. Rikure T., Novickis L. Studying of the learner psychophysiological behaviour in Human-Computer Interaction // Annual Proceedings of Vidzeme University College „ICTE in Regional Development”, Valmiera, Latvija, 2007. - pp. 83-87.
41. Ruiz et. al. Voice analysis to predict the psychological or physical state of a speaker // Aviation, Space, and Environmental Medicine. - 1990. - 61(3). - pp. 266-171.
42. Sarrafzadeh A., Alexander S., Dadgostar F. et.al. How do you know that I don't understand? A look at the future of intelligent tutoring systems // Computers in Human Behavior, Elsevier Ltd., 2007. - pp. 1342-1363.
43. Springer S., Deutch G. Left Brain, Right Brain. - W.H.Freeman & Co Ltd., 1993. - 368. p.
44. The laboratory of Computer Graphics at dep. of CS MSU: Publications / Internets. - <http://graphics.cs.msu.ru/en/publications/index.html>
45. Villon O., Lisetti C. A User-Modeling Approach to Build User's Psycho-Physiological Maps of Emotions using Bio-Sensors // Robot and Human Interactive Communication, IEEE, ROMAN, 2006. - pp. 269 - 276.
46. Voice Analysis Systems / Internets. - <http://www.nemesysco.com/>



47. Wang H., Chignell M., Ishizuka M. Improving the Usability and Effectiveness of Online Learning: How can Avatars help? // Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings, Education, HFES, 2007. - pp. 769-773.
48. Бьюзен Т., Бьюзен Б. Супермышление. Как повысить ясность и эффективность мышления, а также общий уровень интеллекта и быстроту мысли. - Минск: Попурри, 2003. - 304 с.
49. Величковский Б.М. Современная когнитивная психология. - М.: Изд-во МГУ, 1982.
50. Джонс Т.М. Программирование искусственного интеллекта в приложениях. - М.: ДМК Пресс, 2006. - 311 с.
51. Зайцева Л.В., Новицкий Л.П., Грибкова В.А. Разработка и применение АОС на базе ЭВМ. - Рига: Зинатне, 1989. - 174 с.
52. Зимняя И.А. Педагогическая психология. - Москва: Логос, 2004. - 384 с.
53. Интеллектуальные системы принятия проектных решений / Алексеев А. В., Борисов А. Н., Вилюмс Э. Р. и др. - Рига: Зинатне, 1997. - 320 с.
54. Информационный стресс. Информационно-психологическая безопасность личности как качественная характеристика информационной культуры человека. Д.Ю.Устимов. Монография. - Казань: Казанский государственный университет культуры и искусств, 2006.
55. Методика анализа и применения параметров кожно-гальванических реакций человека / Internets. - <http://nelian.ru/doc/kgr.pdf>
56. Минкин В., Николаенко Н. Теоретические предпосылки и технические средства идентификации состояния человека / Internets. - <http://www.elsys.ru/review8.php>
57. Многокритериальная оптимизация: elektroniskā māc. grām. /Internets. - [http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book\\_1/16.php](http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book_1/16.php)
58. Новицкий Л.П. Диалоговые средства автоматизированных обучающих систем на базе математических и лингвистических моделей. Докторская диссертация. - Рига: Рижский Политехнический институт, 1990.
59. Психофизиология: elektroniskā māc. grām. /Internets. - <http://www.ido.edu.ru/psychology/psychophysiology/index.html>
60. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-ое издание. - М.: Вильямс, 2006. - 1407 с.
61. Растринин Л.А., Эренштейн М.Х. Адаптивное обучение с моделью обучаемого. - Рига: Зинатне, 1986. - 160 с.

62. Свидерская Н.Е. Синхронная электрическая активность мозга и психические процессы. - М.: Наука, 1987. - 156 с.
63. Серова Е.Н., Иванов Ю.П. Кожно-гальваническая реакция: теория и новые методические подходы / Internets. - <http://www.nelian.ru/doc/mednauki.pdf>
64. Талалаев А.А. Психофизиологический мониторинг функционального состояния населения как составная часть системы национальной безопасности России / Internets. - <http://www.neurolab.ru/>
65. Физиология трудовой деятельности: elektroniskā grām. / Internets. - <http://corncoolio.narod.ru/nashe/physiology/metoda/metoda.htm>
66. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация: теория, вычисления, приложения. - М.: Наука, 1982. - 336 с.