

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

**Antons MISLĒVIČS**

**MOBILIE AĢENTI BIZNESA PROCESU VADĪBAS ATBALSTAM  
MĀKOŅSKAITĻOŠANAS VIDĒS**

**Promocijas darba kopsavilkums**

**Rīga 2013**

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**  
Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte  
Lietišķo datorsistēmu institūts

**Antons MISLĒVIČS**  
Doktora studiju programmas „Datorsistēmas” doktorants

**MOBILIE AĢENTI BIZNESA PROCESU VADĪBAS ATBALSTAM  
MĀKOŅSKAITĻOŠANAS VIDĒS**

**Promocijas darba kopsavilkums**

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

**Rīga 2013**

UDK 004.415(043.2)  
Mi 826 m

Mislēvičs A. Mobilo aģentu izmantošana biznesa procesu vadības atbalstam mākoņskaitļošanas vidēs. Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU, 2013.-50 lpp.

Iespiests saskaņā ar DITF LDI padomes 2012. gada 10. decembra lēmumu, protokols Nr. 12-32.

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



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

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2013.g. 4. martā Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātē, Meža ielā 1/3, 202. auditorijā.

**OFICIĀLIE RECENZENTI**

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

Profesors, Dr.sc.comp. Jānis Bičevskis  
Latvijas Universitāte

Profesors, PhD Kuldar Taveter  
Tallinas Tehnoloģiju universitāte, Igaunija

**APSTIPRINĀJUMS**

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

Antons Mislēvičs .....(paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 4 pielikumus, 62 attēlus un 4 tabulas pamattekstā, kopā 219 lappuses. Literatūras sarakstā ir 219 nosaukumi.

## SATURA RĀDĪTĀJS

IEVADS .....	7
1. BIZNESA PROCESU VADĪBA.....	11
1.1. Konceptija .....	12
1.2. Biznesa procesu vadības evolūcija .....	14
1.3. Tirgus situācijas analīze biznesa procesu vadības jomā .....	15
1.4. Secinājumi .....	16
2. BIZNESA PROCESU VADĪBAS SISTĒMAS .....	16
2.1. Korporatīvo informācijas sistēmu attīstības virzieni un tendences .....	16
2.2. Uz procesiem orientēto informācijas sistēmu uzbūve .....	18
2.3. Intelektuālie aģenti biznesa procesu vadības sistēmās .....	21
2.4. Secinājumi .....	23
3. INTELEKTUĀLIE AĢENTI.....	24
3.1. Intelektuālo aģentu sistēmu apskats.....	24
3.2. Mobilo aģentu sistēmas .....	25
3.3. Uz darbplūsmām bāzētā mobilo aģentu sistēma.....	28
3.3.1. Aģentu izstrādes un izpildes process.....	28
3.3.2. Aģentu pakotņu formāts.....	30
3.4. Secinājumi .....	32
4. MOBILO AĢENTU SISTĒMA MĀKOŅA BPVS INTEGRĀCIJAI .....	33
4.1. Mobilo aģentu sistēmas uzbūve un arhitektūra.....	33
4.1.1. Mobilo aģentu sistēmas arhitektūra .....	33
4.1.2. Mobilo aģentu sistēmas integrācijas ar mākoņa BPVS apraksts .....	36
4.2. AgentWF prototipa apraksts .....	39
4.3. Aprobācija.....	40
4.4. Secinājumi .....	42
GALVENIE REZULTĀTI UN SECINĀJUMI .....	43
LITERATŪRAS SARAKSTS .....	46

## DEFINĪCIJAS

**Biznesa process** – aktivitāšu secība, kas palīdz sasniegt organizācijas biznesa mērķi;

**Biznesa procesa modelis** – formāls biznesa procesa apraksts grafiskā veidā;

**Biznesa procesu vadība** – koncepcijas, metodes un tehnikas, kas atbalsta biznesa procesu analīzi, izstrādi, ieviešanu un administrēšanu;

**Biznesa procesu vadības sistēma (BPVS)** – informācijas sistēma, kas atbalsta biznesa procesu vadības ieviešanu organizācijās;

**Mākoņa BPVS** – biznesa procesu vadības sistēma mākoņskaitļošanas vidē, kas ļauj organizācijām izmantot BPVS kā pakalpojumu, samazinot tehnoloģijas ieviešanai nepieciešamās investīcijas un laiku;

**Korporatīvā informācijas sistēma** – informācijas sistēma, kuru ievieš uzņēmumā ar mērķi apstrādāt lielu informācijas apjomu, kā arī, lai koordinētu un atbalstītu organizācijas biznesa procesus;

**Uz procesiem orientēta informācija sistēma** – informācijas sistēma, kas atbalsta organizācijas biznesa procesus un ir orientēta uz uzņēmuma procesu un konteksta specifiku;

**Aģents** – jebkas, kas saņem informāciju par ārējo vidi ar sensoriem un var iedarboties uz ārējo vidi ar izpildmehānismiem;

**Programmatūras aģents** – datorprogramma, kas darbojas noteiktā vidē un veic autonomas darbības, lai sasniegtu definētus mērķus;

**Mobilais aģents (MA)** – programmatūras aģents, kas var pārvietojies starp izpildes vidēm (ierīcēm) izpildes laikā;

**Mobilo aģentu sistēma** – platforma, kas nodrošina MA-u izveidošanas, izpildīšanas, pārsūtīšanas un izpildes pārtraukšanas operācijas.

**Stiprā mobilitāte** (*strong mobility*) – aģenta mobilitātes veids, kad MA-u sistēma saglabā programmas izpildes stāvokli un pārsūta to kopā ar aģentu. MA-u sistēma garantē, ka, turpinot aģenta izpildi citā vidē, tiks saglabātas visas aģenta programmas mainīgo vērtības;

**Vājā mobilitāte** (*weak mobility*) – aģenta mobilitātes veids, kad MA-u sistēma saglabā lielāko daļu no programmas izpildes stāvokļa datiem. Turpinot MA-a izpildi, programmas izpilde tiek atjaunota no iepriekš definētas vietas, piemēram, funkcijas izsaukuma. Izstrādājot MA-us, programmētājiem ir jāapstrādā katra aģenta migrācijas operācija.

## IEVADS

Biznesa procesu vadība (BPV) pēdējos gados piedzīvo strauju attīstību. Rezultātā BPV tiek implementēta ne tikai pilota projektos, bet arī ieviesta uzņēmumu līmenī [13]. BPV aptver koncepcijas, metodes un tehnikas, kas organizācijā atbalsta biznesa procesu analīzi, izstrādi, ieviešanu un administrēšanu. Procesu ieviešanai organizācijas vēsturiski izmanto tradicionālu pieeju, kad uzņēmuma vadība iepazīstina darbiniekus ar uzņēmuma procesiem, ko darbinieki realizē, un kas ir aprakstīti iekšējos normatīvos aktos [113]. Tomēr pēdējā laikā arvien lielāku popularitāti gūst arī ar BPV saistītās tehnoloģijas [13, 95]. Organizācijas izrāda interesi izmantot specializētas datorizētas sistēmas, kas atbalsta BPV ieviešanu [21]. Šādas sistēmas sauc par biznesa procesu vadības sistēmām (BPVS).

Nesenajos pētījumos ir atzīmēts mākoņskaitļošanas tehnoloģiju popularitātes pieaugums [13, 54, 62, 88, 95]. Mākoņskaitļošanas tehnoloģijas ļauj organizācijām izmantot korporatīvas informācijas sistēmas kā pakalpojumus, samazinot sistēmas ieviešanai un uzturēšanai nepieciešamās investīcijas un laiku. Organizācijā ieviešot mākoņa sistēmu (*Software as a Service – SaaS*), ir jānodrošina tās integrācija ar uzņēmuma infrastruktūrā esošajām informācijas sistēmām (lokālām sistēmām). Ir zināmi vairāki tehniski risinājumi SaaS un lokālo sistēmu integrācijai [31, 55, 56, 75, 87, 102, 103, 114, 118]. Tomēr neviens no esošajiem risinājumiem nevar pilnībā nodrošināt visas mākoņa BPVS specifiskās integrācijas prasības [62]. Promocijas darbā šī problēma ir atrisināta, izmantojot mobilo aģentu tehnoloģiju.

### Tēmas aktualitāte

Analizējot BPVS attīstības tendences, pētnieki prognozē, kā mākoņskaitļošanas tehnoloģijas nākotnē tiks plaši izmantotas, ieviešot BPVS [54, 88]. Līdzīgu tendenci novēro arī tirgus analītiķi [13, 95].

2011. gadā firmas *Gartner* analītiķi veica plašu tirgus izpēti, kuras laikā tika apskatītas modernas BPV tehnoloģijas, ar BPV saistītās zināšanu jomas un IT pakalpojumi [13]. Pētījuma rezultātā tika novērtēts, cik ātri tehnoloģija, zināšanu joma vai IT pakalpojums, kas tagad tiek uzskatīts par perspektīvu, kļūs ikdienā uzņēmumos par plaši lietojamu, kā arī cik nozīmīgs būs to ieviešanas efekts. Analītiķi pievērs īpašu uzmanību mākoņa BPV tehnoloģijām, kas ļauj organizācijām tās izmantot kā pakalpojumus, samazinot tehnoloģijas ieviešanai nepieciešamās investīcijas un laiku [13]. Analītiķi secina, ka mākoņa BPVS kļūs par ikdienā plaši lietojamām tuvāko 2-5 gadu laikā. Tiek novērots arī, ka atsevišķiem BPVS ražotājiem mākoņa BPVS pakalpojumi pēdējos gados veido arvien lielāku daļu no ienākumiem [2].

Ieviešot organizācijā BPVS, ir svarīgi nodrošināt tās integrāciju ar esošajām korporatīvajām informācijas sistēmām. Mākoņa BPVS gadījumā, ir jānodrošina SaaS

sistēmas integrācija ar uzņēmuma lokālajām sistēmām. Tā kā neviens no zināmiem tehniskiem risinājumiem SaaS un lokālo sistēmu integrācijai nevar pilnībā nodrošināt visas mākoņa BPVS specifiskās integrācijas prasības, ir nepieciešams piedāvāt jaunu integrācijas mehānismu.

### **Promocijas darba mērķis**

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt uz mobiliem aģentiem bāzētu mehānismu integrācijas nodrošināšanai starp mākoņa BPVS un organizācijās esošajām informācijas sistēmām un aparatūru, un praktiski realizēt to programmatūras sistēmā, veicot arī izstrādātās sistēmas eksperimentālu pārbaudi.

Izvirzītais mērķis pamatojas uz šādām **tēzēm**:

- izmantojot mobilos aģentus ir iespējams nodrošināt integrāciju starp mākoņa BPVS un organizācijās esošajām informācijas sistēmām un aparatūru;
- ir iespējams izstrādāt mobilo aģentu izstrādes procesu un rīkus, kas ļauj definēt mobilos aģentus cilvēkiem bez pieredzes programmēšanā;
- ir iespējams izveidot universālo mobilo aģentu pakotņu formātu, kas implementē mobilo aģentu sistēmu pamatprasības.

### **Darba uzdevumi**

Promocijas darba mērķa sasniegšanai ir izvirzīti šādi uzdevumi:

- izanalizēt biznesa procesu vadības problēmsfēras attīstības vēsturi un aktuālās problēmas;
- izanalizēt, kuras no šīm problēmām tiek risinātas, izmantojot biznesa procesu vadības sistēmas;
- veikt biznesa procesu vadības sistēmu uzbūves principu analīzi;
- izanalizēt mākoņa BPVS integrācijas scenāriju specifiku un piedāvātos risinājumus integrācijas nodrošināšanai;
- veikt esošo mobilo aģentu sistēmu analīzi un izvērtēt, vai tās var izmantot šajā scenārijā;
- izstrādāt mobilo aģentu sistēmas arhitektūru integrācijas nodrošināšanai starp mākoņa BPVS un organizācijās esošajām informācijas sistēmām un aparatūru;
- veikt izstrādātās arhitektūras realizāciju, izmantojot kādu no esošajām mobilo aģentu sistēmām vai izstrādājot jaunu;
- veikt izstrādātās sistēmas eksperimentālu pārbaudi.

### **Pētījumu objekti**

Promocijas darba pētījumu objekti ir mākoņa BPVS un mobilo aģentu sistēmas.

### **Pētījumu priekšmets**

Promocijas darba pētījuma priekšmets ir mākoņa BPVS integrācijas scenāriji un to realizācijas iespējas, izmantojot mobilo aģentu tehnoloģiju.

### **Pētījumu metodes**

Promocijas darbs pamatojas uz pieejamo literatūras avotu analīzē noskaidrotajām zināmo sistēmu nepilnībām un trūkumiem. Promocijas darbā izstrādātās sistēmas prototipa realizācijai ir izmantotas programmatūras inženierijas metodes. Izstrādātais sistēmas prototips ir aprobēts sešos testa scenārijos.

**Darba zinātniskais jaunieguvums** ir šāds:

- izstrādāta pieeja integrācijas nodrošināšanai starp mākoņa BPVS un organizācijās esošajām informācijas sistēmām un aparatūru, kas pamatojas uz darbā piedāvāto mobilo aģentu sistēmas arhitektūru;
- izstrādāts un aprakstīts biznesa procesu vadības sistēmu analīzes algoritms, kas ļauj noskaidrot iespējamus mobilo aģentu un BPVS integrācijas veidus;
- izstrādāta un aprakstīta mobilo aģentu sistēma, kuras pamatā ir darbplūsmu izmantošana aģentu izstrādei un izpildei;
- izstrādāts un aprakstīts universālais mobilo aģentu pakotņu formāts.

### **Pētījumu praktiskā nozīmība**

Darba praktiskā nozīmība ir saistīta ar izstrādāto mobilo aģentu sistēmas prototipu, ko var izmantot:

- konkrēta uzņēmuma vajadzībām – integrācijas nodrošināšanai starp mākoņa BPVS un organizācijās esošajām informācijas sistēmām un aparatūru;
- lai pārbaudītu darbā piedāvātās pieejas un mobilo aģentu sistēmas arhitektūras piemērotību citiem scenārijiem;
- kā darbā piedāvātās pieejas un mobilo aģentu sistēmas arhitektūras implementācijas paraugu, kas palīdzēs pielāgot risinājumu citām platformām, vai pārnest uz citām tehnoloģijām.

### **Darba aprobācija**

Par promocijas darba galvenajiem rezultātiem ir nolasīti četri referāti starptautiskās zinātniskās konferencēs (no tiem divi ārvalstīs, t.i., Lietuvā, un divi Latvijā):

- Mislevics, A. An Introduction to Mobile Agent-Supported Business Process Management. 4th International Conference: Information Society and Modern Business, The Role of Regional Centers in Business Development, May 14 –16, 2009, Ventspils, Latvia;
- Mislēvičs, A. Mobīlo aģentu izmantošana biznesa procesu vadībā. 50. RTU starptautiskā zinātniskā konference, 2009. gada 14.-15. oktobris, Rīga, Latvija;

- Mislevics, A., Grundspenkis, J. Mobile Agents for Integrating Cloud-Based Business Processes with On-Premises Systems and Devices. Baltic DB & IS 2012, Tenth International Baltic Conference on Databases and Information Systems, July 8-11, 2012, Vilnius, Lithuania;
- Mislevics, A., Grundspenkis, J. Workflow Based Approach for Designing and Executing Mobile Agents. The Second International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC12), July 10-12, 2012, Klaipeda, Lithuania.

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

- Grundspenķis, J., Mislēvičs, A., Intelligent Agents for Business Process Management Systems. Infonomics for Distributed Business and Decision-Making Environments: Creating Information System Ecology. Malgorzata Pankowska (ed.), (Karol Adamiecki University of Economics in Katowice, Poland), pp. 97-131, 2010. Citation indexed: IGI Global, InfoSci, Google, Amazon, ACM Digital Library, Safari Books Online;
- Mislēvičs, A., An Introduction to Mobile Agent-Supported Business Process Management. Proceedings of The 4th International Conference "Information Society and Modern Business", Ventspils, Latvia, May 14-16, 2009, pp. 49-57, 2009;
- Mislēvičs, A., Grundspenķis, J., Mobile Agents for Integrating Cloud-Based Business Processes with On-Premises Systems and Devices, Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, vol.249: Databases and Information Systems VII, IOS Press, ISBN 978-1-61499-161-8, pp. 191-203, 2013. Citation indexed: ACM Digital Library, Web of Science (Conference Proceedings Citation Index and Book Citation Index – Science), DBLP, Google Scholar, SciVerse Scopus, Zentralblatt MATH;
- Mislēvičs, A., Grundspenķis, J., Workflow Based Approach for Designing and Executing Mobile Agents, Proceedings of The Second International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC12), ISBN 978-1-4673-1105-2, pp. 97-102, 2012. Citation indexed: IEEE Xplore, Elsevier, Thomson Reuters, ProQuest, IET, NLM, Google;
- Mislēvičs, A., Grundspenķis, J., Integrating Workflow-Based Mobile Agents with Cloud Business Process Management Systems, International Journal on New Computer Architectures and Their Applications (IJNCAA) vol. 2(4), The Society of Digital Information and Wireless Communications, ISSN: 2220-9085, pp. 511-530, 2012. Citation indexed: Ulrichsweb, INSPEC, EBSCOhost, Academickeys,

MediaFinder, Google Scholar, Microsoft Academic Research, ResearchGate, Research Bible, Scirus, Copernicus Journals Master List, Cabell Directory.

Izstrādāts sistēmas prototips, kas ir pielietots sistēmas izmantošanai šādos scenārijos:

- Aģentu izstrāde un droša izpilde;
- Sensitīvas aģenta konfigurācijas informācijas aizsargāšana, izmantojot kriptēšanu;
- Mobilo aģentu sistēmas integrācija ar mākoņa BPVS, lietojot *SharePoint Online* sistēmu kā paraugu;
- Mobilo aģentu pakotņu parakstīšana ar Latvijas personas apliecību (eID);
- Uzņēmumā esošās sistēmas datu lietošana mākoņa BPVS, izmantojot *Tildes Jumis* sistēmu kā paraugu;
- Uzņēmumā esošās aparatūras izmantošana mākoņa BPVS (integrācija ar printeriem).

### **Darba struktūra**

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

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

Promocijas darba 1. nodaļā ir veikta biznesa procesu vadības analīze ar mērķi vispārīgā līmenī definēt BPV koncepcijas pamatelementus, apskatīt aktuālus pētījumu virzienus un izanalizēt attīstības tendences.

Promocijas darba 2. nodaļā ir apskatīti korporatīvo informācijas sistēmu attīstības virzieni un tendences, uz procesiem orientēto informācijas sistēmu uzbūves principi un arhitektūras un izanalizēti intelektuālo aģentu pielietojumi biznesa procesu vadības sistēmās.

Promocijas darba 3. nodaļā ir veikta intelektuālo aģentu analīze ar mērķi apskatīt to koncepciju un programmatūras aģentu izstrādes principus, aprakstīt mobilo aģentu koncepciju, mobilo aģentu sistēmu arhitektūras un implementācijas aspektus, izanalizēt esošas mobilo aģentu sistēmas, aprakstīt piedāvāto uz darbplūsmām bāzēto mobilo aģentu sistēmu un izstrādāto bāzes mobilo aģentu pakotņu formātu.

Promocijas darba 4. nodaļā ir aprakstīta izstrādātā MA-u sistēmas arhitektūra, prototipa implementācija, risinājuma aprobācijas scenāriji un veikta aprobācijas rezultātu analīze.

Promocijas darba rezultāti un secinājumi ir apkopoti darba noslēguma nodaļā.

## **1. BIZNESA PROCESU VADĪBA**

Biznesa procesu vadības (BPV) virziens pakāpeniski attīstījās 20. gadsimtā. Mūsdienās termins BPV nozīmē dažādas lietas dažādām auditorijām – to uztver kā zinātnisko pētījumu

virzienu, uzņēmējdarbības rīku, tirgus kategoriju, konsultāciju jomu, metodoloģiju vai vadības disciplīnu.

Šis nodaļas mērķis ir vispārīgā līmenī definēt BPV koncepcijas pamatelementus, apskatīt aktuālus pētījumu virzienus un izanalizēt attīstības tendences.

## 1.1. Koncepcija

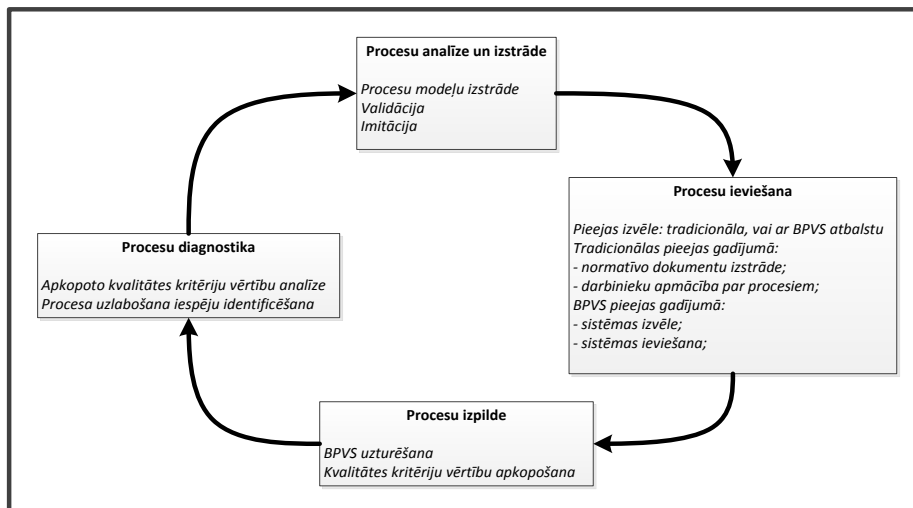
Biznesa procesu vadības (BPV) pamatā ir apgalvojums, ka jebkurš produkts (vai pakalpojums), ko piedāvā uzņēmums, ir kādas aktivitāšu kopas izpildes rezultāts [113]. Biznesa procesi ļauj organizēt šīs aktivitāšu kopas un saprast attiecības starp tām. Katra biznesa procesa mērķis ir palīdzēt sasniegt kādu no uzņēmuma mērķiem.

BPV aptver koncepcijas, metodes un tehnikas, kas organizācijā atbalsta biznesa procesu analīzi, izstrādi, ieviešanu un administrēšanu. BPV pamatmērķis ir izveidot formālu biznesa procesu aprakstu, kas iekļauj visas procesa aktivitātes, attiecības starp tām un esošos ierobežojumus. Šāds procesa apraksts ļauj veikt organizācijā pastāvošo procesu analīzi un optimizāciju, kā arī jaunu procesu ieviešanu.

Lai formāli aprakstītu biznesa procesu, tiek veidots grafisks biznesa procesa modelis. Biznesa procesu modeli tiek aprakstīti, izmantojot speciālas grafiskas notācijas. Notācijas definē grafiskus elementus, kas tiek izmantoti aprakstot procesa modeli, to īpašības, un principus kā šie elementi tiek apvienoti. Eksistē dažādas biznesa procesu modeļu grafiskas notācijas, tomēr to pamatelementi un principi ir līdzīgi [113]. Viena no pēdējā laikā izplatītākajām notācijām ir *Business Process Modelling Notation* (BPMN), kas ir standarta valoda biznesa procesu modeļu aprakstam [74]. Lai nodrošinātu izstrādāto procesu modeļu ieviešanu organizācijā, kā arī procesu izpildes analīzi ar mērķi identificēt to uzlabošanas iespējas, organizācijā ir jāievieš pilns BPV process.

BPV ir iteratīvs process, kas sastāv no četriem posmiem: procesu analīze un izstrāde, procesu ieviešana, procesu izpilde un procesu diagnostika (1.1. att.) [96, 113]. Šis process sākas ar formāla biznesa procesa apraksta izveidošanu. Tas ir ļoti svarīgs posms un ir sarežģīts organizācijām, kurās procesus izpilda nesistemātiski, un katrs jauns procesa eksemplārs tiek apstrādāts kā absolūti jauns gadījums. Šāda pieeja parasti neļauj pastāvīgi sasniegt prognozējamus procesa izpildes rezultātus [34]. Katram procesam ir nepieciešams noteikt atbilstošus kvalitātes kritērijus un to sagaidāmās vērtības. Tos nosaka, analizējot procesa specifiku, klientu vajadzības, vai konkurentu piedāvājumus: piemēram, procesa, vai atsevišķu posmu izpildes laiku. Kad process ir ieviests, tas ir jāpārvalda un jāsavāc kvalitātes kritēriju vērtības procesa eksemplāru izpildes laikā. Ja procesa kvalitātes kritēriju vērtības ir sliktākas par vēlamajām vērtībām, kas tika noteiktas, analizējot procesu, ir jāveic procesa analīze, lai saprastu, kas ir izraisījis šo problēmu: nepareizs procesa apraksts (modelis), vai

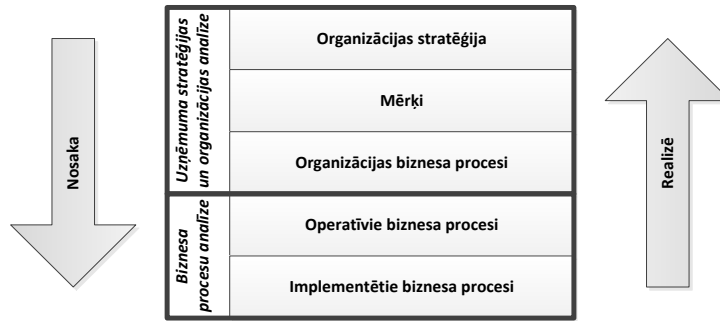
procesa izpildes kvalitāte. Kad problēma ir identificēta, tiek izstrādāts un ieviests problēmas risināšanas plāns un atkārtoti BPV iterācijas soļi.



1.1. att. Biznesa procesu vadības posmi

Biznesa procesu analīze notiek pakāpeniski piecos līmeņos: no augsta līmeņa biznesa stratēģijām līdz biznesa procesu implementācijas detaļām (1.2. att.) [113].

Augstākajā līmenī tiek definēta organizācijas stratēģija, kura apraksta organizācijas koncepcijas, kas nodrošina ilgstošu organizācijas attīstību. Otrajā līmenī organizācijas stratēģiju sadala konkrētos mērķos. Ja nepieciešams, mērķus var sīkāk sadalīt apakšmērķos. Trešajā līmenī tiek aprakstīti organizācijas biznesa procesi (*organizational business process*) – augsta līmeņa biznesa procesi, kas parasti tiek aprakstīti teksta veidā, norādot procesa ieejas, izejas, sagaidāmos rezultātus un saites ar citiem organizācijas biznesa procesiem. Nākamajā līmenī, katram organizācijas biznesa procesam tiek izstrādāti viens vai vairāki operatīvie biznesa procesi (*operational business process*), kas formālā veidā apraksta organizācijas biznesa procesu vai tā daļas. Šajā līmenī biznesa procesus apraksta biznesa procesu modeļu veidā. Operatīvie biznesa procesi satur informāciju par procesa aktivitātēm un attiecībām starp tām, bet nesatur procesa implementācijas detaļas. Izmantojot operatīvos biznesa procesus, pēdējā līmenī apraksta implementētos biznesa procesus (*implemented business process*). Šajā līmenī tiek izstrādātas procesu specifikācijas, kas apraksta kā konkrēts operatīvs biznesa process ir implementēts ar organizatoriskiem, vai tehniskiem līdzekļiem.



1.2. att. Biznesa procesu analīzes līmeņi

Procesu ieviešanai organizācijas parasti izmanto tradicionālu pieeju, kad uzņēmuma vadība iepazīstina darbiniekus ar uzņēmuma procesiem, ko darbinieki realizē un kas ir aprakstīti iekšējos normatīvos aktos [113]. Tomēr pēdējā laikā arvien vairāk organizāciju izrāda interesi izmantot specializētas datorizētas sistēmas, kas atbalsta BPV ieviešanu: procesu analīzi, izstrādi, ieviešanu, izpildi un diagnostiku [21]. Šādas sistēmas sauc par biznesa procesu vadības sistēmām (BPVS). Tās koordinē biznesa procesa aktivitāšu izpildi atbilstoši ievadītam formālam biznesa procesa aprakstam, ievērojot attiecības starp aktivitātēm un definētos ierobežojumus.

## 1.2. Biznesa procesu vadības evolūcija

Mūsdienu BPV pieeja parādījās trīs nozīmīgu biznesa procesu pieeju evolūcijas rezultātā [36]. Tās ir: kvalitātes vadības, biznesa vadības, un informācijas tehnoloģiju pieejas. Vēsturiski var teikt, ka par katalizatoru visu trīs pieeju idejām kalpoja industriālā revolūcija 19. gadsimta beigās. Kvalitātes vadības pieejā galveno uzsvāru liek uz pamatkonceptijām, kas jāievēro katram labam vadītājam, lai uzlabotu darba efektivitāti un nodrošinātu produktu kvalitāti: darba uzdevumu vienkāršošanu, darba laika uzskaiti un analīzi, pastāvīgu eksperimentēšanu, lai atrastu labāko veidu kā izpildīt konkrētu uzdevumu, un kontroles sistēmu ieviešanu, kas ļauj izmērīt procesa rezultātus un apbalvot labus darbiniekus. Atšķirībā no kvalitātes vadības, biznesa vadības pieejas piekritēji bija nevis inženieri un kvalitātes kontroles speciālisti, bet biznesa vadītāji, kas fokusējās nevis uz produktu kvalitātes un ražošanas procesiem, bet meklēja veidus, kā palielināt organizācijas darba efektivitāti. Galvenā uzmanība tika pievērsta tam, kā definēt uzņēmuma stratēģiju un kā organizēt un vadīt darbiniekus, lai sasniegtu uzņēmuma mērķus. Savukārt, informācijas tehnoloģiju pieejas pamatā ir datoru un programmatūras izmantošana darba procesu automatizācijai.

Mūsdienu biznesa procesu tendence apvieno visu trīs nozīmīgo pieeju idejas vienā BPV pieejā [36]. Tās pētījumu virzienus var sagrupēt trīs līmeņos: organizācijas, procesu un implementācijas. **Organizācijas līmenī** ir pētījumi, kas ir saistīti ar stratēģiju, arhitektūru, procesu pārvaldību un efektivitātes novērtējuma kritērijiem uzņēmuma kontekstā. No

nozīmīgiem šī līmeņa pētījumu virzieniem var atzīmēt: organizācijas arhitektūru (*Enterprise Architecture*) [35, 124], vērtību ķēdes (*Value Chains*) [5, 8, 32, 34, 79], tipveida biznesa procesus (*Business Process Frameworks*, vai *Operation Reference Frameworks*) [4, 36, 80], procesu brieduma novērtējuma modeļus (*Process Maturity Model*) [10, 73, 78, 84, 85], integrētas procesu efektivitātes novērtējuma sistēmas (*Integrated Process Measurement Systems*) [4, 29, 80, 97] un organizācijas pārmaiņu vadību [36]. **Procesu līmenī** ir metodoloģijas un rīki biznesa procesu analīzei un uzlabošanai. No šī līmeņa pētījumu virzieniem ir jāatzīmē inovāciju veicināšana uzņēmumos [33, 68, 83, 93] un sarežģītu biznesa procesu analīze un modelēšana [36, 37]. **Implementācijas līmenī** ir metodoloģijas un tehnoloģijas biznesa procesu ieviešanai un darbināšanai. Šajā līmenī var izdalīt biznesa procesu vadības sistēmas (BPVS) [47, 96, 113] un standartizāciju un sertifikāciju BPV jomā [36, 52, 113].

### 1.3. Tirgus situācijas analīze biznesa procesu vadības jomā

2011. gadā firmas *Gartner* analītiķi veica plašu tirgus izpēti, kuras laikā tika apskatītas modernās BPV tehnoloģijas, ar BPV saistītās zināšanu jomas un IT pakalpojumi [13]. Pētījuma rezultātā tika novērtēts, cik ātri tehnoloģija, zināšanu joma vai IT pakalpojums, kas tagad tiek uzskatīts par perspektīvu, kļūs par ikdienā plaši lietojamu uzņēmumos, kā arī cik nozīmīgs būs to ieviešanas efekts.

Analītiķi atzīmē [13], ka BPV pēdējos gados piedzīvo strauju attīstību un tā jau tiek implementēta ne tikai pilotprojektos, bet arī ieviesta uzņēmumu līmenī. Tomēr pēdējā prasa vairākas specifiskas zināšanas un prasmes kā arī izmaiņas organizācijas kultūrā un darba procesos [71]. Lai nodrošinātu BPV ieviešanai nepieciešamās specifiskas zināšanas un prasmes, organizācijas sāk arvien biežāk dibināt iekšējus biznesa procesu kompetences centrus (*Business Process Competency Center – BPCC*) [13]. BPCC ir uzņēmuma struktūrvienība, kas atbalsta BPV ieviešanu organizācijā un sniedz konsultācijas citiem uzņēmuma darbiniekiem, tā tiek iesaistīta visos uzņēmuma BPV projektos, izstrādā iekšējās BPV vadlīnijas, kā arī pieņem lēmumus par BPV standartiem un rīkiem, kas tiks izmantoti uzņēmumā. Tiek atzīmēts, ka BPCC ir kritiski svarīgs, lai organizācijā attīstītu ar BPV saistītās zināšanu jomas [70, 72].

Arvien lielāku popularitāti gūst arī ar BPV saistītās tehnoloģijas [13, 95]. Tā no pētījuma [13] rezultātiem var redzēt, ka tuvāko divu gadu laikā par plaši lietojamām kļūs šādas tehnoloģijas: biznesa aktivitāšu uzraudzība (*Business Activity Monitoring*) [22, 23], biznesa likumu pārvaldības sistēmas (*Business Rule Management Systems*) [11], pieteikumu apstrādes sistēmas (*Case Management*) [3], optimizācijas un imitācijas risinājumi (*Optimization and Simulation*) [94] un biznesa procesu vadības sistēmas (BPVS) [95].

BPVS ir BPV tehnoloģija, kas piedāvā plašākas funkcionālās iespējas biznesa procesu analīzei, ieviešanai, uzraudzībai un uzlabošanai. Mūsdienu BPVS produkti atbalsta visas biznesa procesu analīzes un ieviešanas cikla fāzes.

Analītiķi pievērš īpašu uzmanību mākoņa BPV tehnoloģijām, kas ļauj organizācijām izmantot BPV tehnoloģiju kā pakalpojumu, samazinot tās ieviešanai nepieciešamās investīcijas un laiku [13].

## **1.4. Secinājumi**

Biznesa procesu vadības problēmsfēras analīzes rezultātā ir izdarīti šādi secinājumi:

- BPV aptver koncepcijas, metodes un tehnikas, kas organizācijā atbalsta biznesa procesu analīzi, izstrādi, ieviešanu un administrēšanu;
- Mūsdienu BPV pieejas pētījumu virzienus var sagrupēt trīs līmeņos: organizācijas, procesu un implementācijas;
- BPV ir iteratīvs process, kas sastāv no četriem posmiem: procesu analīze un izstrāde, procesu ieviešana, procesu izpilde un procesu diagnostika;
- Tīrgus izpētes rezultāti liecina, ka BPV joma kopumā uzņēmumiem ir aktuāla. Procesu ieviešanai organizācijas arvien biežāk izmanto specializētas sistēmas – BPVS. Atsevišķa uzmanība tiek pievērsta mākoņa BPVS risinājumiem, kas ļauj uzņēmumiem samazināt BPVS ieviešanai nepieciešamās investīcijas.

## **2. BIZNESA PROCESU VADĪBAS SISTĒMAS**

Pirmajā nodaļā, analizējot biznesa procesu vadības (BPV) problēmsfēru, ir definēti BPV koncepcijas pamatelementi, apskatīti aktuālie pētījumu virzieni un izanalizētas attīstības tendences. Ir secināts, ka procesu ieviešanai organizācijas arvien biežāk izmanto biznesa procesu vadības sistēmas (BPVS). BPVS ir modernas korporatīvas informācijas sistēmas, kas ir orientētas uz organizācijas biznesa procesiem.

Šīs nodaļas mērķis ir apskatīt korporatīvo informācijas sistēmu attīstības virzienus un tendences, uz procesiem orientēto informācijas sistēmu uzbūves principus un izanalizēt intelektuālo aģentu pielietojumus biznesa procesu vadības sistēmās.

### **2.1. Korporatīvo informācijas sistēmu attīstības virzieni un tendences**

Par korporatīvām tiek sauktas informācijas sistēmas, kuras ievieš uzņēmumā ar mērķi apstrādāt lielu informācijas apjomu, kā arī, lai koordinētu un atbalstītu organizācijas biznesa procesus [15]. Korporatīvās informācijas sistēmas biznesa procesu vadībai un automatizācijai radās datoru popularitātes pieauguma rezultātā un pakāpeniski attīstījās pēdējo 40 gadu laikā

[96]. Analizējot korporatīvo informācijas sistēmu attīstību, pētnieki atzīme vairākas nozīmīgas tendences [109, 111].

Mūsdienās organizācijām ir pieejamas daudzas informācijas sistēmas, kas atbilst dažādām uzņēmumu funkcionālajām vajadzībām: piemēram, operētājsistēmas nodrošina darbu ar dažādu aparatūras nodrošinājumu, ir pieejamas datubāzes pārvaldības sistēmas, kas paredzētas darbam ar dažādiem datu apjomiem un tiem, specifisku funkciju sistēmas, piemēram, autotransporta vadības sistēmas, pieteikumu apstrādes sistēmas, personālvadības sistēmas, grāmatvedības sistēmas, nodrošina nepieciešamās funkcijas atsevišķām uzņēmuma nodaļām [109]. Rezultātā, izstrādājot korporatīvās sistēmas, galvenais uzdevums ir nevis programmēt nepieciešamo funkcionalitāti, bet integrēt kopā funkcionalitāti, ko piedāvā gatavas sistēmas.

Kā citu nozīmīgu tendenci pētnieki atzīmē to, ka mūsdienās korporatīvo informācijas sistēmu izstrāde un attīstība ir kļuvusi dinamiskāka [111]. Ja iepriekš sistēmas izstrāde sākās ar detalizētu visu funkciju plānošanu, tad tagad izstrādātājiem ir jāparedz, kā sistēma dabīgi attīstīsies ekspluatācijas laikā, lai adaptētos izmaiņām organizācijas biznesa procesos un uzņēmējdarbības vidē. Rezultātā, attīstot sistēmas, pieaug vajadzība veidot integrāciju ar uzņēmumā esošajām korporatīvajām informācijas sistēmām [96].

Nākamā nozīmīgā mūsdienu korporatīvo informācijas sistēmu attīstības tendence liecina, ka vairāk fokusējas nevis uz datiem, bet uz procesiem [96]. 1970.-jos un 1980.-jos gados galvenais informācijas sistēmu uzdevums bija nodrošināt datu uzglabāšanu un apstrādi. Izstrādātāji nepievērsa pietiekamu uzmanību biznesa procesiem, kuros šie dati tika izmantoti. Rezultātā biznesa procesi vēlāk bija jāpielāgo informācijas sistēmu specifikai. Šī situācija mainījās līdz ar biznesa procesu reinženierijas (*Business Process Reengineering – BPR*) metodoloģijas parādīšanos 90.-os gados. Mūsdienās, izstrādājot korporatīvās informācijas sistēmas, dominē uz procesiem orientēta pieeja [96, 111]. Tās ideja nosaka, ka, ieviešot informācijas sistēmu, izstrādātāju mērķis ir nodrošināt biznesa procesa izpildi, veidojot integrācijas ar esošajām specializētajām sistēmām, ko izmanto nepieciešamo datu apstrādei [7, 96]. Tā rezultātā parādījās jauna informācijas sistēmu kategorija, ko sauc par „uz procesiem orientētām” informācijas sistēmām [86, 110]. Šīs sistēmas atbalsta organizācijas biznesa procesus un ir orientētas uz uzņēmuma procesu un konteksta specifiku.

Nesenajos pētījumos tiek atzīmēts mākoņskaitļošanas tehnoloģiju popularitātes pieaugums. Mākoņskaitļošanas tehnoloģijas ļauj organizācijām izmantot korporatīvās informācijas sistēmas kā pakalpojumus, samazinot sistēmas ieviešanai un uzturēšanai nepieciešamās investīcijas un laiku [13, 54, 62, 88, 95].

## 2.2. Uz procesiem orientēto informācijas sistēmu uzbūve

Uz procesiem orientētu informācijas sistēmu pamatā ir darbplūsma. Darbplūsma ir datorizēta biznesa procesa vai tās daļas veicināšana vai automatizēšana [123]. Pirmās šāda veida sistēmas parādījās 90-os gados, un tika sauktas par darbplūsmu vadības sistēmām (*Workflow Management Systems – WfMS*) [24, 40, 51, 53, 96, 108, 113, 125]. Vēlāk šādas sistēmas programmatūras ražotāji biežāk sāka saukt par biznesa procesu vadības sistēmām (BPVS) [96, 113]. Atšķirībā no WfMS, BPVS nodrošina pilnu BPV procesa ciklu. Tā WfMS nodrošina funkcionalitāti procesu analīzei un izstrādei, procesu ieviešanai un procesu izpildei. Savukārt BPVS papildus piedāvā arī procesu diagnostikai nepieciešamo funkcionalitāti, piemēram, imitācijas rīkus, kā arī līdzekļus procesu efektivitātes rādītāju apkopošanai un analīzei [111].

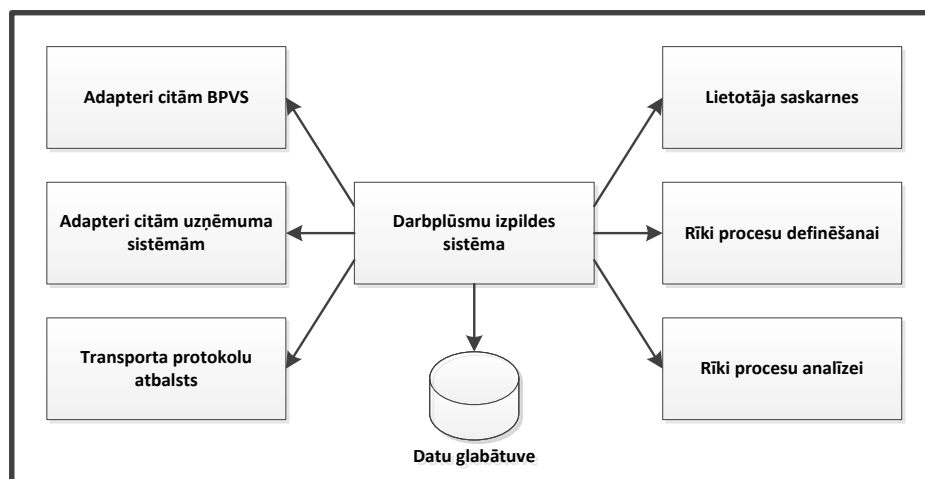
Analizējot lietotāju prasības, analītiķi secina, ka mūsdienu BPVS organizācijām ir jānodrošina šāda funkcionalitāte [95]:

- Organizācijas iekšējo kā arī starp-organizāciju biznesa procesu, kuros piedalās uzņēmuma partneri, piegādātāji un klienti, efektivitātes optimizācija;
- Biznesa procesu caurredzamības nodrošināšana biznesa un IT pārstāvjiem, izmantojot biznesa procesu modelēšanas, uzraudzības (*monitoring*) un optimizācijas līdzekļus;
- Biznesa procesu modeļu un to eksemplāru sinhronizācija;
- Biznesa procesu modeļu un to eksemplāru modificēšanas nodrošināšana biznesa pārstāvjiem un analītiķiem, lai operatīvi sistēmu pielāgotu izmaiņām organizācijas biznesa procesos un uzņēmējdarbības vidē;
- Iespēju nodrošināšana ātri veidot un modificēt integrāciju starp biznesa procesiem un uzņēmuma informācijas sistēmām, kas ļauj nepārtraukti uzlabot un optimizēt biznesa procesus.

Lai nodrošinātu šīs prasības, BPVS ir jāpiedāvā ne tikai augstu procesu adaptivitātes līmeni, bet arī integrācijas mehānismus ar uzņēmumā esošajām informācijas sistēmām [95, 96]. Mūsdienu BPVS komponentes ir parādītas 2.1. attēlā.

Lielākā daļa no mūsdienu BPVS ir būvētas pēc centralizētas arhitektūras principa [28, 113]. Šādās sistēmās ir viens galvenais process, kas kontrolē darbplūsmu izpildi. Centralizēto BPVS arhitektūra ir saprotama, vienkārši implementējama un, pateicoties tam, ir populāra izstrādātāju vidū [28, 123]. Tomēr centralizētai arhitektūrai ir identificēti vairāki trūkumi, kā, piemēram, nepietiekama automatizācija un pielāgojamība, resursu vadības trūkums un sarežģīts kļūdu apstrādes mehānisms [27, 28, 57, 67, 77, 107, 113, 123]. Tāpēc vairākos pētījumos ir piedāvāti alternatīvi BPVS realizācijas veidi, piemēram, uz subjektiem orientēta biznesa procesu vadība (*Subject-Oriented Business Process Management*), sociālās BPVS

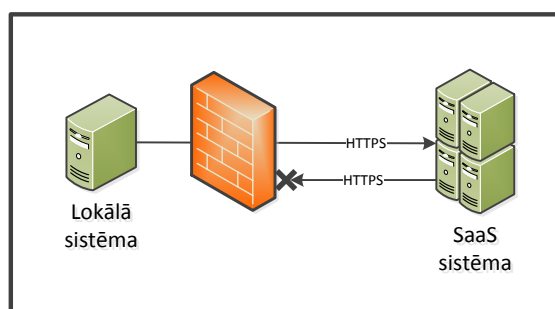
(*Social BPM*), dinamiskā BPV (*Dynamic BPM*) vai intelektuālu aģentu izmantošana [6, 12, 13, 16, 41, 42, 43, 44, 58, 89, 101, 123].



2.1. att. Biznesa procesu vadības sistēmas komponentes (adaptēts no [96])

Analizējot BPVS attīstības tendences, pētnieki prognozē, kā, ieviešot BPVS, nākotnē tiks plaši izmantotas mākoņskaitļošanas tehnoloģijas [54, 88]. Līdzīgu tendenci novēro arī tirgus analītiķi, pievēršot īpašu uzmanību mākoņa BPVS attīstībai [13, 95]. Organizācijā ieviešot mākoņa sistēmu (*Software as a Service – SaaS*), ir jānodrošina tās integrācija ar uzņēmuma infrastruktūrā esošajām informācijas sistēmām (lokālām sistēmām). Implementējot integrācijas scenārijus, kuros SaaS sistēma pieprasa datus un servisu no lokālām sistēmām, ir jāņem vērā, ka sistēmas atrodas dažādos tīklos, tāpēc pieslēguma veidošanai SaaS sistēma nevar izmantot sistēmu adreses lokālā tīklā. Papildus tam, drošības apsvērumu dēļ, lokālās sistēmas tiek izolētas no ārējā tīkla, izmantojot ugunsmūri (*firewall*), kas atļauj izejošos pieprasījumus, bet bloķē ienākošos. Rezultātā SaaS sistēma nevar sūtīt tiešus pieprasījumus uz lokālo sistēmu tīmekļa pakalpēm (2.2. att.).

Lai novērstu šo problēmu, SaaS un lokālo sistēmu integrāciju ir jāveido tādejādi, ka visi pieprasījumi nāk tikai no lokālo sistēmu puses. Pieejas trūkums ir tas, ka šāds integrācijas modelis nav mērogojams, un var ievērojami noslogot organizācijas tīkla infrastruktūru gadījumos, kad dati lokālās sistēmās tiek bieži mainīti [55]. Bez tam, šādā veidā nevar nodrošināt integrācijas scenārijus, kuros komunikāciju iniciē notikums SaaS sistēmā.



2.2. att. Informācijas apmaiņa starp SaaS un lokālām sistēmām (adaptēts no [55])

Lai atļautu SaaS sistēmai sūtīt pieprasījumus lokālām sistēmām, ir iespējami vairāki tehniski risinājumi:

- 1) Publicēt lokālo sistēmu servisu kā tīmekļa pakalpes ārējā tīklā, izmantojot sistēmā iebūvēto tīmekļa pakalpi, vai speciāli to izstrādājot. Sarežģītas lokālā tīkla infrastruktūras gadījumā tīmekļa pakalpi publicēšana var prasīt daudz darba. Bez tam, pieeja nav adaptīva un prasa pastāvīgu IT darbinieku iesaisti, lai publicētu jaunus servisu, vai aizvērtu publicētos. Pieeja var radīt arī drošības riskus, jo lokālo sistēmu servisu nepareiza publicēšana ārējā tīklā var nepiederošām personām ļaut piekļūt uzņēmuma lokālo sistēmu datiem, piemēram, neierobežojot adreses, no kurām šiem servisiem var pieslēgties, vai neieviešot autentifikācijas mehānismu [55];
- 2) Konfigurēt *Virtual Private Network* (VPN) kanālu starp SaaS sistēmu un lokālo tīklu. Tā rezultātā SaaS sistēma var pieslēgties uzņēmuma lokālām sistēmām tiešā veidā, nesūtot pieprasījumus caur ugunsmūri [87, 103, 118]. Šī pieeja ir realizējama tikai mākoņa infrastruktūras (*Infrastructure as a Service* – IaaS) gadījumā, kad uzņēmums var pilnībā kontrolēt mākonī esošus serverus infrastruktūras līmenī. SaaS gadījumos, kad uzņēmums izmanto informācijas sistēmu kā pakalpojumu, konfigurēt VPN nav iespējams;
- 3) Izmantot komunikācijas starpnieku, kas atrodas ārējā tīklā un ir pieejams gan SaaS, gan lokālām sistēmām (*relayed messaging*) [56, 114]. Šī pieeja ļauj SaaS un lokālām sistēmām apmainīties ar ziņojumiem līdzīgi kā gadījumā, kad tie atrodas vienā tīklā, nemainot ugunsmūra iestatījumus. Tomēr, lai starp sistēmām izveidotu integrāciju, ir nepieciešams atbilstošā veidā konfigurēt iesaistīto sistēmu tīmekļa pakalpes, lai pieprasījumi ietu caur komunikācijas starpnieku;
- 4) Organizācijas lokālā tīklā uzstādīt speciālu komunikācijas aģentu, kas apstrādā informācijas pieprasījumus no SaaS sistēmas [31, 55, 75, 102]. Komunikācijas aģents atver kanālu uz SaaS sistēmu un gaida ienākošos pieprasījumus. Saņemot pieprasījumu, komunikācijas aģents pieslēdzas lokālām sistēmām, izmantojot tīmekļa pakalpi vai datubāzes interfeisu. Šādā veidā nav vajadzīgs speciāli konfigurēt uzņēmuma lokālās sistēmas vai ugunsmūri. Pieeja ļauj samazināt drošības riskus, jo komunikācijas aģents kontrolē informācijas apmaiņu starp SaaS un lokālām sistēmām.

Analizējot SaaS integrācijas scenārijus, ņemot vērā BPVS specifiku, promocijas darbā ir identificētas vairākas prasības [62]:

- 1) Veikt sarežģītus aprēķinus tuvu datu avotiem lokālā tīklā, lai efektīvi apstrādātu lielus datu apjomus;
- 2) Veikt aprēķinus un apstrādāt datus, kas glabājas lokālās sistēmās lokālā tīklā drošības vai privātuma apsvērumu dēļ;

- 3) Operatīvi mainīt integrācijas iestatījumus, lai mainītu biznesa procesu, reaģējot uz izmaiņām ārējā vidē;
- 4) Pieslēgties specifiskām sistēmām un aparatūrai, kas nenodrošina piekļuvi caur tīmekļa pakalpju vai datubāzes interfeisiem.

2.1. tabulā ir parādīts kādā līmenī šīs prasības var tikt nodrošinātas, izmantojot esošos tehniskos risinājumus pieslēguma veidošanai lokālo sistēmu datiem un servisiem. VPN gadījums netiek apskatīts, jo tas nav izmantojams SaaS sistēmu integrācijas scenārijos, kad uzņēmums izmanto informācijas sistēmu kā pakalpojumu un nevar ietekmēt mākonī esošo serveru konfigurāciju infrastruktūras līmenī.

2.1. tabula: BPVS integrācijas prasību nodrošināšana esošajos tehniskajos risinājumos

Prasība	Tehniskais risinājums			
	Lokālo sistēmu servisu publicēšana	Speciāli izstrādāto servisu publicēšana	Komunikācijas starpnieks	Komunikācijas aģents
1) <i>Veikt sarežģītus aprēķinus tuvu datu avotiem.</i>	Nenodrošina	Daļēji. Aprēķini un datu transformācijas lokālā tīklā var notikt tikai uz serveriem, kur darbojas izstrādātā tīmekļa pakalpe	Nenodrošina	Daļēji. Aprēķini un datu transformācijas lokālā tīklā var notikt uz serveriem, kur ir uzstādīta komunikācijas aģenta programmatūra
2) <i>Apstrādāt datus lokālā tīklā.</i>	Nenodrošina	Nodrošina	Nenodrošina	Nodrošina
3) <i>Operatīvi mainīt integrācijas iestatījumus.</i>	Nenodrošina, jo ir nepieciešams pārpublicēt, vai mainīt tīmekļa pakalpes, kas prasa IT iesaisti	Nenodrošina, jo ir nepieciešams pārpublicēt, vai mainīt tīmekļa pakalpes, kas prasa IT iesaisti	Nenodrošina, jo ir nepieciešamas pārkonfigurēt lokālo sistēmu servissus	Daļēji. Atkarīgs no implementācijas. Tipiski, daļa no integrācijas konfigurācijas informācijas tiek glabāta lokālā tīklā un ir cieši saistīta ar lokālo sistēmu tīmekļa pakalpju un datubāzu interfeisiem, kas sarežģī izmaiņu ieviešanu
4) <i>Pieslēgties specifiskām sistēmām un aparatūrai.</i>	Nenodrošina	Nodrošina	Nenodrošina	Parasti nenodrošina. Atkarīgs no komunikācijas aģenta implementācijas. Sistēmām un ierīcēm ir jābūt pieejamiem tiešiem izsaukumiem no komunikācijas aģentiem, kas var nebūt iespējams sadalītās un dinamiskās vidēs

Kā redzams no tabulas, neviens no esošajiem risinājumiem nevar pilnībā nodrošināt visas mākoņa BPVS integrācijas prasības. Promocijas darbā šīs integrācijas problēmas ir atrisinātas, izmantojot mobilo aģentu tehnoloģiju [62]. Risinājuma arhitektūra, implementācija un aprobācijas rezultāti ir detalizēti aprakstīti 4. nodaļā.

### 2.3. Intelektuālie aģenti biznesa procesu vadības sistēmās

Izdala divus scenārijus kā intelektuālie aģenti var piedalīties biznesa procesos: aģenti atbalsta procesu izpildi (ar aģentiem atbalstīta BPV), vai aģenti to vada (uz aģentiem balstīta BPV) [12, 123]. Pirmajā scenārijā aģenti atbalsta biznesa procesus, kas tiek darbināti BPVS,

piemēram, palīdz lietotājiem izpildīt no BPVS saņemtus darba uzdevumus, izpilda uzdevumus autonomi, vai nodrošina integrāciju ar citām sistēmām. Otrajā, aģenti kontrolē un vada biznesa procesu izpildi.

Analizējot aģentu pielietojumus abos scenārijos [12, 123], ir izdarīti šādi secinājumi:

- 1) Ar aģentiem atbalstītas BPV scenāriju var izmantot ar jebkuru BPVS, kas piedāvā metodes un protokolus integrācijai ar ārējām sistēmām, piemēram, tīmekļa pakalpes;
- 2) Lai nodrošinātu pilnu uz aģentiem balstītas BPV scenāriju, ir jāimplementē aģentu biznesa procesu vadības sistēma (ABPVS) – multiaģentu sistēma, kur katrs aģents kontrolē darbplūsmas izpildi konkrētā posmā, bet sadarbība starp aģentiem nodrošina pilnu biznesa procesa izpildi [27, 42];
- 3) Kombinējot pirmo un otro scenāriju, var nodrošināt uz aģentiem balstītu izpildi daļai no biznesa procesa, kas tiek realizēts centralizētā BPVS.

Mākoņa BPVS gadījumā izstrādātāji nekontrolē BPVS arhitektūru, tāpēc nevar implementēt pilnu uz aģentiem balstītas BPV scenāriju. Parasti, mākoņa BPVS ārējām sistēmām piedāvā tīmekļa pakalpojumu integrācijas interfeisus [55], kurus izmantojot, izstrādātāji realizē ar aģentiem atbalstītas BPV scenārijus. Bez tam, biznesa procesa daļai, tiek nodrošināta uz aģentiem balstīta izpilde, izmantojot kombinēto pieeju.

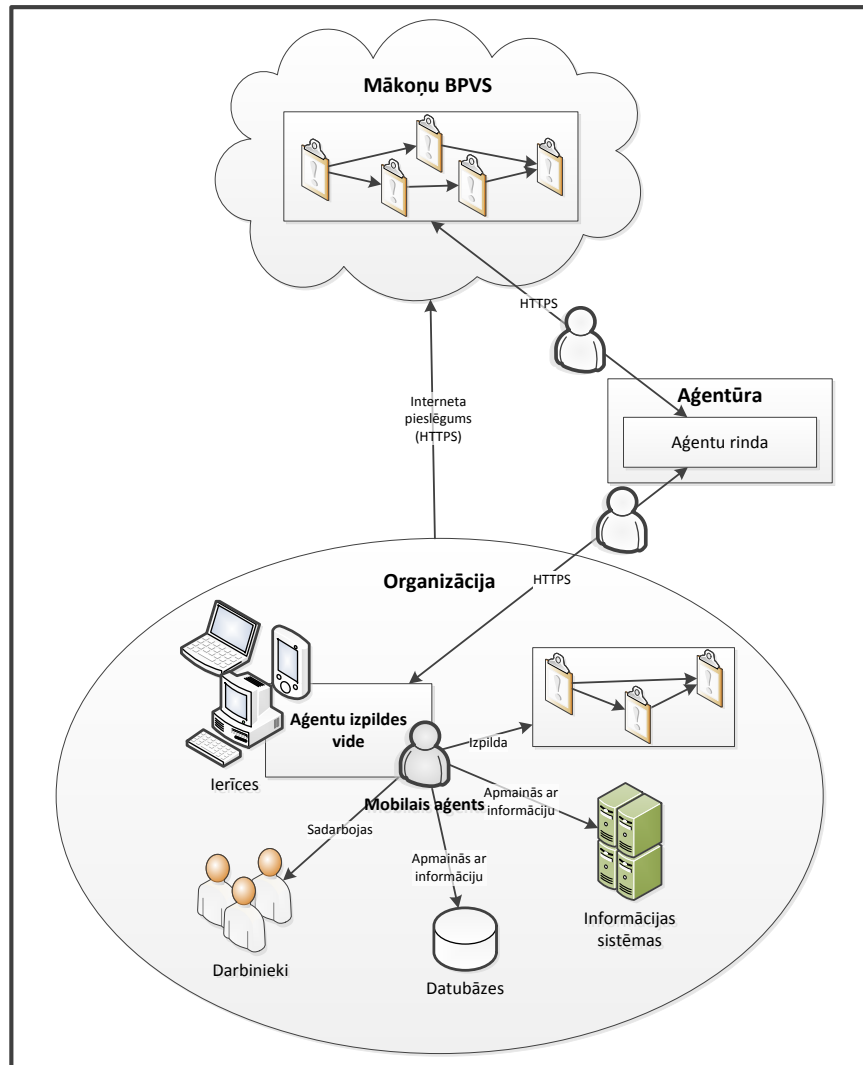
Promocijas darbā mobilos aģentus (MA) izmanto, lai nodrošinātu specifiskas mākoņa BPVS integrācijas prasības, kas tika aprakstītas iepriekš. Izstrādātā pieeja ir parādīta 2.3. attēlā. Organizācijas darbinieki pieslēdzas mākoņa BPVS, lietojot uzņēmumā esošo interneta pieslēgumu. Organizācijas iekšējā vide sastāv no darbiniekiem, dažādām ierīcēm, informācijas sistēmām un datubāzēm. Lai integrētu uzņēmuma lokālo infrastruktūru ar mākoņa BPVS ar MA-u palīdzību, ir jāizveido organizācijas MA-u infrastruktūra. Uz atsevišķām uzņēmuma ierīcēm ir jāuzstāda aģentu izpildes vides (*agent execution environment*). Bez tam, ir nepieciešams konfigurēt komunikācijas serveri (aģentūru). To var uzstādīt kā daļu no BPVS, daļu no organizācijas iekšējās infrastruktūras, vai kā atsevišķu servisu mākoņskaitļošanas vidē. Komunikācijas serverim ir jāuztur aģentu rinda un tie jāpiegādā atbilstošiem adresātiem, kad tie ir pieejami (BPVS, vai aģentu izpildes vidēm). MA-u izpilde tiek iniciēta mākoņa BPVS. Izpildes laikā MA-i pārvietojas starp aģentu izpildes vidēm un veic operācijas katrā no tām. Transportēšanai MA-i tiek pārveidoti speciālās MA-u pakotnēs. Sistēmas implementācija un aprobācijas rezultāti ir detalizēti aprakstīti 4. nodaļā.

MA-u izmantošanai mākoņa BPVS integrācijas scenārijos ir šādas priekšrocības [62]:

- 1) Integrācijas loģika tiek glabāta MA-a pakotnē (mākoņa BPVS pusē), kas ļauj operatīvi ieviest izmaiņas esošajās integrācijās;

- 2) MA-i var veikt aprēķinus un datu transformācijas tuvu datu avotiem, jo tie var pārvietoties starp izpildes vidēm lokālā tīklā;
- 3) Sistēma ir viegli paplašināma, jo ir iespējams vienkārši uzstādīt papildus aģentu izpildes vides, kas ir svarīgi dinamiskās vides gadījumā;
- 4) MA-i var pieslēgties specifiskām sistēmām un aparatūrai, kas nenodrošina piekļuvi caur tīmekļa pakalpojumiem vai datubāzes interfeisiem.

Šādā veidā MA-u izmantošana mākoņa BPVS integrācijas scenārijos ļauj nodrošināt visas specifiskās mākoņa BPVS integrācijas prasības.



2.3. att. Mobilo aģentu izmantošana mākoņa BPVS integrācijai [62]

## 2.4. Secinājumi

Biznesa procesu vadības sistēmu analīzes rezultātā ir izdarīti šādi secinājumi:

- Mūsdienās, ieviešot korporatīvās informācijas sistēmas, izstrādātāju galvenais uzdevums ir nodrošināt biznesa procesa izpildi, veidojot integrāciju ar esošajām specializētajām sistēmām, ko izmanto nepieciešamo datu apstrādei;

- Mākoņa sistēmu gadījumā ir jānodrošina to integrācija ar uzņēmuma infrastruktūrā esošajām informācijas sistēmām;
- Mākoņa BPVS gadījumā eksistē vairākas specifiskas integrācijas prasības, ko esošie risinājumi nevar pilnībā nodrošināt;
- Promocijas darbā ir izstrādāts uz mobilo aģentu tehnoloģiju balstīts risinājums, kas nodrošina visas specifiskās mākoņa BPVS integrācijas prasības.

Jaunie teorētiskie rezultāti ir šādi:

- Identificētas četras specifiskas mākoņa BPVS integrācijas prasības;
- Izanalizēts kādā līmenī šīs prasības var nodrošināt, izmantojot esošos tehniskos risinājumus un mobilo aģentu tehnoloģiju;
- Analīzes rezultātā ir pamatota MA-u lietošanas nepieciešamība;
- Izstrādāta un aprakstīta uz MA-iem balstītā pieeja integrācijas nodrošināšanai starp mākoņa BPVS un organizācijās esošajām informācijas sistēmām un aparatūru.

### 3. INTELEKTUĀLIE AĢENTI

Otrajā nodaļā, analizējot biznesa procesu vadības sistēmas, ir secināts, ka organizācijā ieviešot mākoņa sistēmu, ir jānodrošina tās integrācija ar uzņēmuma infrastruktūrā esošajām informācijas sistēmām. Mākoņa BPVS gadījumā eksistē vairākas specifiskas integrācijas prasības, kuras var nodrošināt, izmantojot mobilo aģentu (MA) tehnoloģiju.

Šīs nodaļas mērķis ir apskatīt intelektuālo aģentu koncepciju un programmatūras aģentu izstrādes principus, aprakstīt MA-u koncepciju, MA-u sistēmu arhitektūras un implementācijas aspektus, izanalizēt esošās MA-u sistēmas, aprakstīt piedāvāto uz darbplūsmām bāzēto MA-u sistēmu un izstrādāto bāzes MA-u pakotņu formātu.

#### 3.1. Intelektuālo aģentu sistēmu apskats

Aģentu tehnoloģijas ir relatīvi jauna joma, kas tiek aktīvi pētīta pēdējos 20 gadus. Līdz ar to pagaidām pat „aģenta” pamatkonceptijai nav pieņemta kopēja definīcija. Termins „aģents” tiek lietots, runājot gan par dabīgām, gan par mākslīgām sistēmām. Vairākos pētījumos ir mēģināts definēt, ko var saukt par aģentu [65]. Visaptverošā definīcijā „aģents ir jebkas, kas saņem informāciju par ārējo vidi ar sensoriem un iedarbojas uz ārējo vidi ar izpildmehānismiem” [86]. Par aģentiem sauc arī datorprogrammas, kas darbojas noteiktā vidē un veic autonomas darbības, lai sasniegtu definētus mērķus [119].

No programmēšanas viedokļa aģenti ir objektu nākamais attīstības posms. Aģenti un objekti tiek atdalīti ontoloģijas līmenī [112]. Aģenti ir aktīvi elementi, kas var saņemt ziņojumus, veikt darbības, risināt problēmas, apmainīties ar informāciju un uzņemties saistības (*commitments*). Objekti ir pasīvi elementi, kam nav šādu spēju.

No uzbūves viedokļa programmatūras aģents ir datorprogramma. Izstrādājot programmatūras aģentu, ir jāizanalizē un jāapraksta šādi aspekti [26]:

- vide, kurā aģents darbojas;
- sensori, no kuriem aģents var saņemt informāciju par ārējo vidi;
- izpildmehānismi, ar kuriem aģents var veikt darbības;
- aģenta mērķi un efektivitātes novērtēšanas kritēriji.

Eksistē vairākas intelektuālo aģentu arhitektūras, kas balstās uz dažādiem lēmumu pieņemšanas principiem [86]. BPV kontekstā interesantākās aģentu arhitektūras ir uz mērķiem orientētie aģenti, uz lietderību orientētie aģenti, aģenti ar spēju mācīties, *Belief-Desire-Intension* (BDI) [120] aģenti un mobilie aģenti [48, 49].

Promocijas darbā izstrādātais risinājums pamatojas uz MA-u izmantošanu, tāpēc tie tiek apskatīti detalizēti.

### 3.2. Mobilo aģentu sistēmas

Mobilie aģenti (MA) ir programmatūras aģenti, kas var pārvietoties starp ierīcēm izpildes laikā. Pārvietošanās laikā tiek pārņemts gan programmas kods, gan tekošais stāvoklis. Sasniedzot mērķa ierīci, aģents turpina programmas izpildi no saglabātā stāvokļa [49, 50, 66]. MA-u sistēmas ir platformas, kas nodrošina aģentu izveidošanas, izpildīšanas, pārsūtīšanas un izpildes pārtraukšanas operācijas. Ne visas MA-u sistēmas nodrošina stāvokļa mobilitāti [20, 104]. Atkarībā no tā, kādā veidā sistēmā tiek pārvietots MA-a izpildes stāvoklis, izdala divus mobilitātes veidus: stiprā mobilitāte (*strong mobility*) un vājā mobilitāte (*weak mobility*). Galvenā stiprās mobilitātes priekšrocība ir tas, ka aģentu migrācijas rezultāts ir paredzams un saprotams MA-u izstrādātājiem. Vājās mobilitātes gadījumā programmētājiem ir jāapstrādā katra aģenta migrācijas operācija.

MA-u sistēmām ir jānodrošina divi pamatscenāriji [59]: aģentu izveidošana un aģentu pārsūtīšana. Lai uzsāktu aģenta izpildi, sistēma izveido MA-a klases eksemplāru. MA-a klase apraksta aģenta implementāciju. Aģenta izpilde tiek uzsākta izpildes vidē, kuru ir norādījis lietotājs vai noklusētā vidē. Izpildes laikā aģents var pieprasīt MA-u sistēmai pārsūtīt to uz citu izpildes vidi vai citu MA-u sistēmu. Saņemot šādu pieprasījumu, sistēma uzsāk aģenta pārsūtīšanu: aptur aģenta izpildi, identificē pārsūtamo aģenta stāvokli, serializē aģenta klasi un stāvokli, kodē to atbilstoši izmantotā transporta protokola prasībām, iekļauj autentifikācijai nepieciešamo informāciju un pārsūta aģentu. Lai pabeigtu aģenta pārsūtīšanas procesu, aģenta saņēmējs (izpildes vide, vai cita MA-u sistēma) pārbauda autentifikācijas informāciju, dekodē aģentu, deserializē aģenta klasi un stāvokli, izveido aģenta eksemplāru, atjauno aģenta stāvokli un atsāk aģenta izpildi. Serializācija (*serialization*) ir process, kas saglabā aģentu



vai tā daļas, lai aizsargātu MA-u pārsūtīšanas laikā. Tālāk servera līmenī ģenerē un reģistrē unikālu aģenta vārdu, kas ļauj nākotnē izsekot konkrēto aģentu. Izpildes vides drošības komponente piešķir aģentam akreditācijas datus (*credentials*), kas ir vajadzīgi autentifikācijai citās MA-u sistēmās un aģentu izpildes vidēs. Savukārt, tīkla komponentes nodrošina aģenta kodēšanu pārsūtīšanai atbilstoši izmantotā transporta protokola prasībām. Pēc aģenta pārsūtīšanas, tīkla komponentes atkodē saņemto pieprasījumu. Tad izpildes vides drošības komponente pārbauda iekļautos akreditācijas datus, un, ja tie ir derīgi, nodod aģentu apstrādei. Servera līmenī reģistrē unikālu aģenta vārdu, aģenta drošības komponentes dekriptē aģentu vai tā daļas, bet vadības servisi veic nepieciešamās deserializācijas un pārvēršanas operācijas. Nobeigumā aģenta izpilde tiek uzsākta aģentu izpildes vidē.

Pēdējos piecos gados ir implementētas vairāk nekā 100 MA-u sistēmas. Par populārākām uzskata *Telescript*, *NOMADS*, *SafeTCL*, *D'Agents*, *JavaSeal*, *Mole*, *Aglets*, *Lime*, *Messenger*, *JADE*, *Voyager*, *TACOMA*, *Grasshopper*, *SPRINGS*, *MAPNET* un *EtherYatri.NET* [30, 81, 104]. MA-u sistēmās pārsvarā lieto vājas mobilitātes pieeju [104]. Implementācijai biežāk izmanto *Java* programmēšanas valodu [30, 104]. Pēdējos gados lielu popularitāti gūst *Microsoft .NET* tehnoloģija, kas līdzīgi *Java* tehnoloģijai atbalsta dinamisku programmu bibliotēku ielādi un koda izpildi izolētā virtuālā vidē [81, 104].

Promocijas darbā veikta zināmo MA-u sistēmu analīze ļauj secināt, ka [63]:

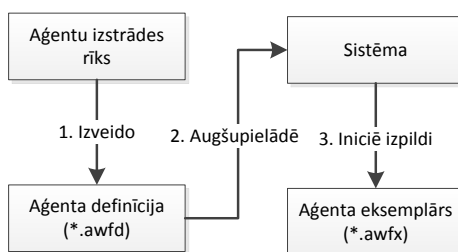
- 1) MA-u sistēmām jāpārsūta MA-i to izpildes laikā. Zināmās MA-u sistēmās ir līdzīgas prasības attiecībā uz informāciju, kas jāiekļauj pārsūtāmā MA-a pakotnē. Tomēr nav definēts kopējais MA-u pakotņu formāts. Tā vietā katra implementācija izmanto izvēlētās tehnoloģiskas platformas iespējas, lai serializētu aģenta programmas kodu un stāvokli. Lai atrisinātu šo problēmu, promocijas darbā ir izstrādāts bāzes MA-a pakotnes formāts, kas implementē MA-u sistēmu pamatprasības un ir paplašināms, ļaujot to pielāgot konkrēta scenārija specifikai;
- 2) Vairākas MA-u sistēmas piedāvā grafisko aģentu izstrādes vidi. Tomēr pat šajās sistēmās MA-us izstrādā kādā no programmēšanas valodām. Tas nozīmē, ka cilvēkam, kas izstrādā MA-us, ir jābūt vismaz pamatzināšanām programmēšanā. MA-u sistēmās, kur izmanto vājo aģenta stāvokļa mobilitātes implementāciju, izstrādājot aģentu, ir jāsaprot, kā notiek aģenta stāvokļa saglabāšana un izpildes atjaunošana pēc pārsūtīšanas. Tas neļauj cilvēkiem bez tehniskām zināšanām un pieredzes programmēšanā izstrādāt MA-us, kas ir svarīgi, lai tos izmantotu BPVS integrācijas scenārijos, jo cilvēkiem bez tehniskām zināšanām jāspēj ātri ieviest izmaiņas MA-u implementācijā. Lai atrisinātu šo problēmu, promocijas darbā ir izstrādāta uz darbplūsmām bāzēta MA-u izstrādes un izpildes pieeja.

### 3.3. Uz darbplūsmām bāzētā mobilo aģentu sistēma

#### 3.3.1. Aģentu izstrādes un izpildes process

Promocijas darbā izstrādātās uz darbplūsmām bāzētās mobilo aģentu (MA) sistēmas pamatā ir darbplūsmu izmantošana MA-u izstrādei un izpildei. MA-u izstrādes process ir parādīts 3.2. attēlā. Tas sastāv no trim soļiem [62]:

- 1) Analītiķis izstrādā MA-u, izmantojot promocijas darbā radīto grafisko izstrādes rīku, kas ļauj definēt secīgas aģenta darbības kā darbplūsmas soļus. Rezultātā tiek izveidota MA-a definīcijas pakotne (.awfd fails);
- 2) MA-a definīcijas pakotne tiek augšupielādēta informācijas sistēmā, kas var iniciēt aģenta izpildi;
- 3) Informācijas sistēma iniciē aģenta izpildi. Šajā brīdī no MA-a definīcijas pakotnes tiek izveidota MA-a eksemplāra pakotne (.awfx fails).



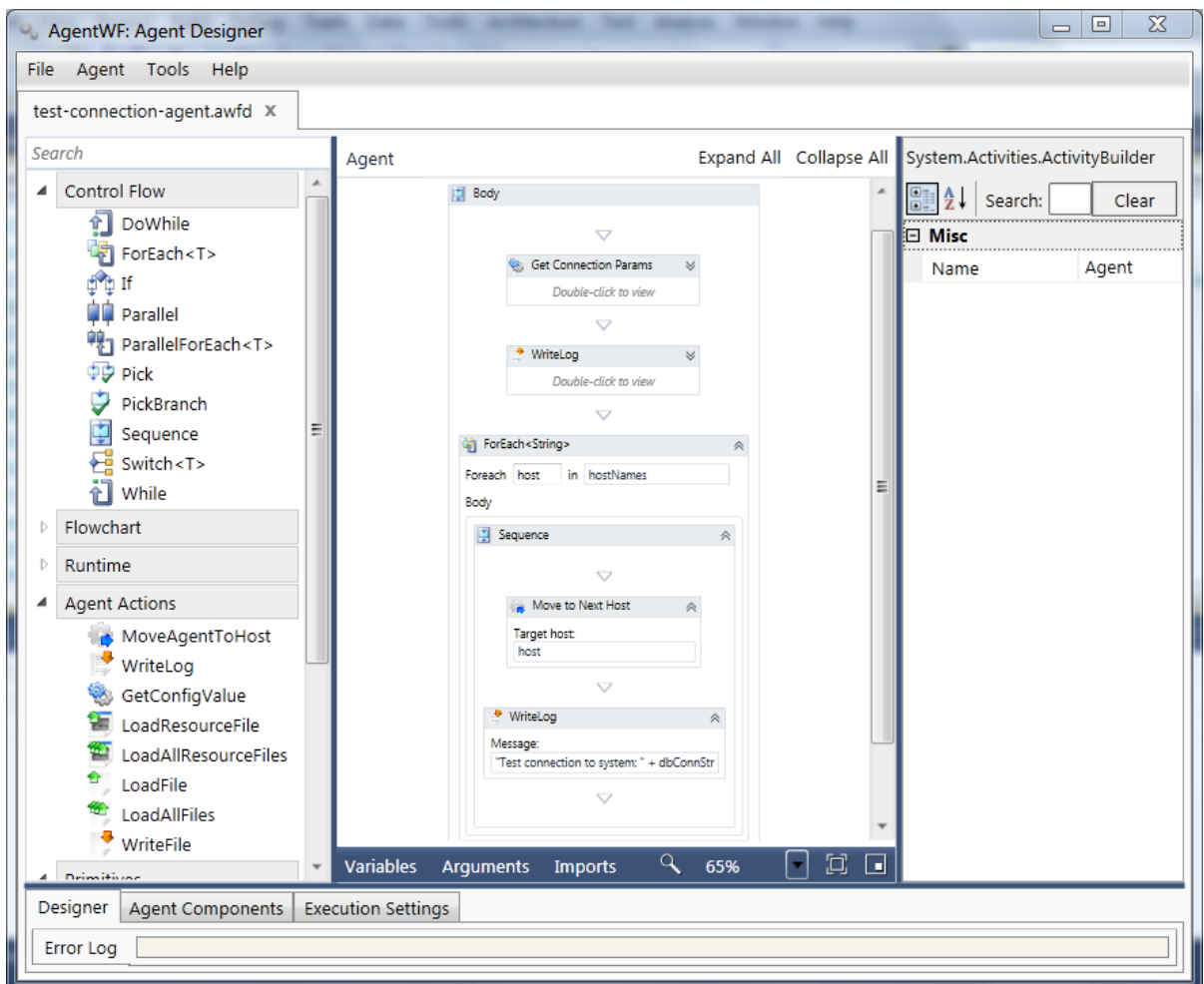
3.2. att. Mobilo aģentu izstrādes process [62]

Grafiskā aģentu izstrādes rīka piemērs, kas ir izstrādāts kā daļa no *AgentWF* sistēmas prototipa, ir parādīts 3.3. attēlā. Izstrādājot MA, analītiķis pievieno aģenta darbplūsmai (centrālā rīka daļa) darbības no pieejamās darbību kopas (kreisais rīka panelis). Lai iniciētu MA-a pārsūtīšanu, izmanto *MoveAgentToHost* darbplūsmas darbību, parametros norādot izpildes vides nosaukumu, uz kuru MA ir jāpārsūta.

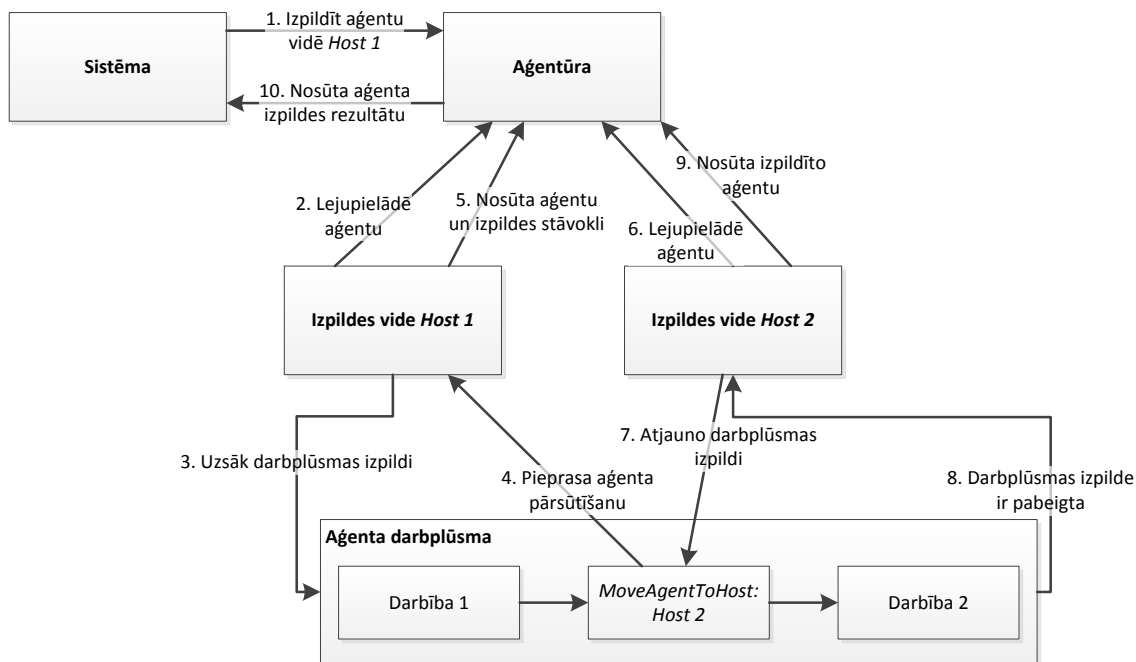
MA-a izpildes process, kas ir parādīts 3.4. attēlā, sastāv no šādiem soļiem:

- 1) Ārējā sistēma vai lietotājs iniciē procesu, nosūtot aģentūrai MA-a pakotni un norādot izpildes vides nosaukumu, kur ir jāuzsāk aģenta izpilde: *Host1*. Aģentūra apstrādā šo pieprasījumu un saglabā MA-a pakotni aģentu rindā;
- 2) Izpildes vides, ievērojot noteiktu laika intervālu, nosūta aģentūrai pieprasījumus, lai pārbaudītu, vai aģentu rindā eksistē MA-i, kuri jāizpilda šajā izpildes vidē. Nosūtot šādu pieprasījumu, izpildes vide *Host1* konstatē, ka aģentu rindā ir MA, kas gaida izpildi tajā. *Host1* lejupielādē šī MA-a pakotni;
- 3) *Host1* deserializē MA-a pakotni un uzsāk aģenta darbplūsmas izpildi;
- 4) Kad darbplūsmas izpilde nonāk līdz darbībai *MoveAgentToHost* ar parametru *Host2*, izpildes vide saņem pārsūtīšanas pieprasījumu no MA-a;

- 5) *Host1* apstādina MA-a izpildi, saglabā aktuālo MA-a izpildes stāvokli un informāciju par pārsūtīšanas mērķa izpildes vidi (*Host2*) MA-a pakotnē, un nosūta MA-a pakotni aģentūrai. Aģentūra apstrādā šo pieprasījumu un saglabā MA-a pakotni aģentu rindā;
- 6) Izpildes vide *Host2* konstatē, ka aģentu rindā ir MA, kas gaida izpildi tajā. *Host2* lejupielādē šī MA-a pakotni;
- 7) *Host2* deserializē aģenta pakotni un atjauno aģenta darbplūsmas izpildi no pēdējā saglabātā stāvokļa;
- 8) Kad ir izpildītas visas darbplūsmas darbības, *Host2* saņem paziņojumu, ka MA-a izpilde ir pabeigta;
- 9) *Host2* saglabā pēdējo MA-a izpildes stāvokli MA-a pakotnē un nosūta to aģentūrai. Aģentūra apstrādā šo pieprasījumu un saglabā MA-a pakotni izpildīto aģentu rindā;
- 10) Aģentūra pārsūta MA-a pakotni no izpildīto aģentu rindas sistēmai, kas pieprasīja MA-a izpildi.



3.3. att. *AgentWF* grafiskais aģentu izstrādes rīks



3.4. att. Aģenta izpildes process

Aģentu pārsūtīšanai izmanto pārsūtīšanas caur centrālo aģentūru pieeju. Tas ļauj pārsūtīt MA-us arī gadījumos, kad izpildes vides nav apvienotas vienā tīklā vai dinamiski maina savu atrašanās vietu tīklā.

Uz darbplūsmām bāzētā mobilo aģentu izstrādes un izpildes pieeja ļauj nodrošināt stipro MA-u mobilitāti. Pārsūtot aģentu, MA-a pakotnē tiek iekļauts pilns darbplūsmas izpildes stāvoklis. Atjaunojot MA-a izpildi mērķa vidē, darbplūsmas izpilde tiek turpināta no pēdējā saglabātā stāvokļa. MA-a pārsūtīšanas process neprasa programmētāju iesaisti.

### 3.3.2. Aģentu pakotņu formāts

Vienotā MA-u pakotņu formāta ieviešana ļauj ne tikai nodrošināt savstarpējo sadarbību (*interoperability*) starp dažādām MA-u sistēmām, kas jau tiek risināts vairākos pētījumos, piedāvājot vienotus standartus [59, 76], bet arī izmantot kopējus rīkus MA-u izstrādei un uzraudzībai [63].

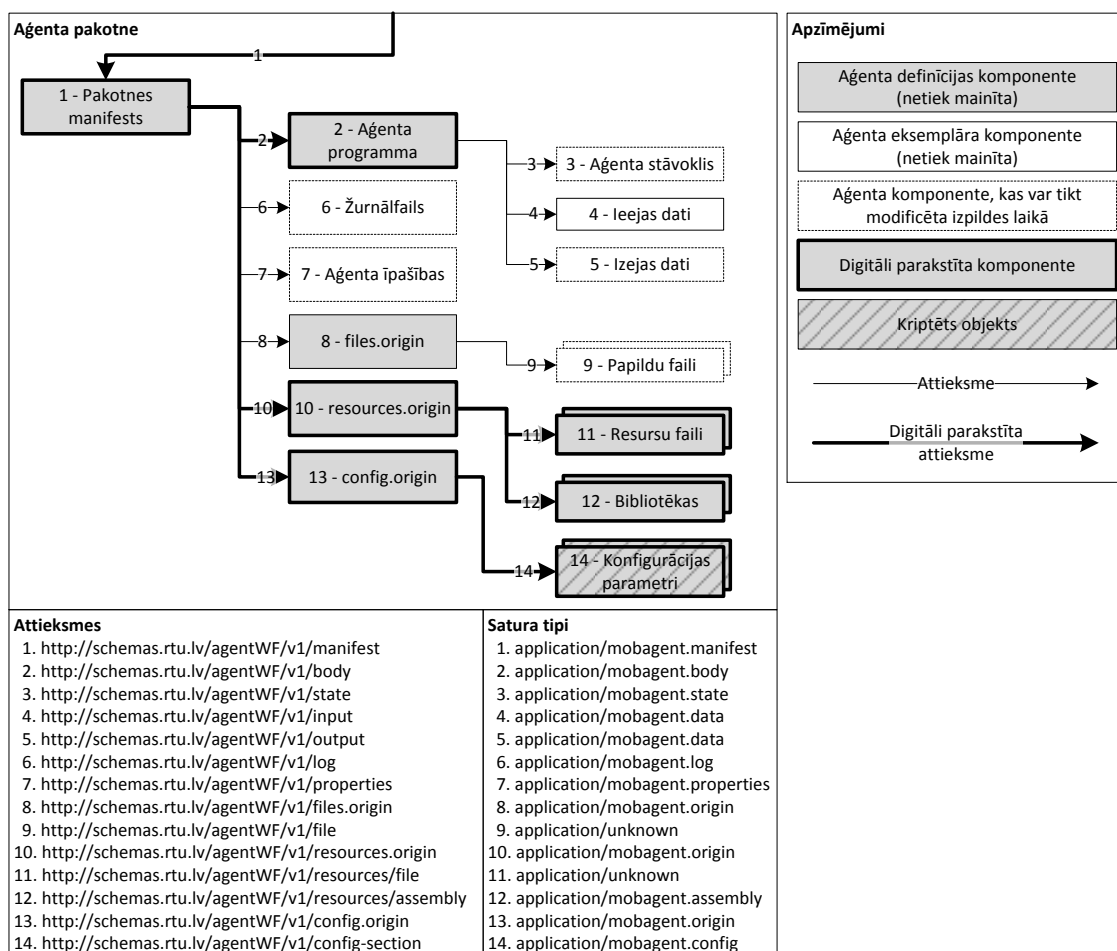
MA-a pakotne ir hierarhisks kontainers, kas ir izveidots atbilstoši *Open Packaging Conventions* (OPC) specifikācijai. OPC apraksta metodi, kas ļauj vienā failā apvienot vairākus objektus, attiecības starp tiem un metadatus. OPC balstās uz atvērtām tehnoloģijām (XML un ZIP failu formātiem) un ir aprakstīts kā daļa no ECMA standarta *Open XML* formātiem [100].

OPC formāts ir piemērots MA-u pakotņu veidošanai, jo tam ir šādas īpašības [63]:

- OPC ir atvērts standarts;
- pakotne var saturēt jebkādus datus (arī šifrētus);
- pakotnes formāts laika gaitā var attīstīties (OPC formāts ir paplašināms);

- tam ir digitālu parakstu atbalsts;
- pakotnes tiek arhivētas, izmantojot ZIP algoritmu, kas ir īpaši svarīgi MA-iem, jo tiek samazināts pārsūtāmā faila apjoms.

Dažādās MA-u sistēmās ir līdzīgas prasības attiecībā uz informāciju, kas ir jāiekļauj MA-u pakotnēs. Analizējot tās, ir identificēti šādi MA-a pakotnes objekti [63]: pakotnes manifests, aģenta īpašības, aģenta programma, aģenta stāvoklis, ieejas dati, izejas dati, papildu faili, resursu faili, bibliotēkas, aģenta žurnālfails un konfigurācijas parametri (3.5. att.).



3.5. att. Aģenta pakotne [63]

MA-a pakotnes objektus un attieksmes sadala trīs kategorijās:

- aģenta definīcijas komponentes tiek digitāli parakstītas, lai nodrošinātu, ka tās netiek mainītas, veidojot aģenta eksemplāru vai MA-a izpildes laikā;
- aģenta eksemplāra komponentes tiek pievienotas vai mainītas, veidojot MA-a eksemplāru no definīcijas, un netiek mainītas MA-a izpildes laikā;
- komponentes, kas var tikt modificētas MA-a izpildes laikā.

Pakotnes objekti un attieksmes ir parādītas 3.5. attēlā. Attieksmes un objekti ir numurēti, lai norādītu attieksmju tipus un objektu satura tipus. Shēmā ir parādītas iepriekš aprakstīto trīs

pakotnes kategoriju komponentes, kā arī ir izdalītas komponentes, kas tiek digitāli parakstītas, un objekti, kurus kriptē.

MA-a pakotnes formāts ir implementēts *AgentWF* sistēmas prototipa ietvaros.

### 3.4. Secinājumi

Galvenie secinājumi ir šādi:

- Mobilie aģenti ir programmatūras aģenti, kas var pārvietoties starp ierīcēm izpildes laikā. Pārvietošanās laikā tiek pārņemts gan programmas kods, gan tekošais stāvoklis;
- Atkarībā no tā, kādā veidā sistēmā tiek pārvietots MA-a izpildes stāvoklis, izdala divus mobilitātes veidus: stiprā mobilitāte un vājā mobilitāte. Galvenā stiprās mobilitātes priekšrocība ir tas, ka aģentu migrācijas rezultāts ir paredzams un saprotams MA-u izstrādātājiem. Vājās mobilitātes gadījumā programmētājiem ir jāapstrādā katra aģenta migrācijas operācija;
- Izdala divas MA-u pārsūtīšanas pieejas: pārsūtīšanu caur centrālo aģentūru un tiešo pārsūtīšanu starp izpildes vidēm. Ja tīkla pieslēgums starp izpildes vidēm neeksistē, iespējams izmantot tikai pirmo pieeju;
- Izstrādājot MA-u sistēmu, ir jāparedz mehānismi, kas pasargā aģentu izpildes vides no nepareizas aģentu uzvedības, kā arī pašus aģentus to izpildes un pārsūtīšanas laikā;
- MA-u sistēmām ir jāpārsūta MA-i to izpildes laikā. Zināmās MA-u sistēmās ir līdzīgas prasības attiecībā uz informāciju, kas jāiekļauj pārsūtāmā MA-a pakotnē, tomēr nav definēts kopējais MA-u pakotņu formāts;
- Promocijas darbā ir izstrādāts un aprakstīts bāzes MA-a pakotnes formāts, kas implementē MA-u sistēmu pamatprasības un ir paplašināms, ļaujot to pielāgot konkrēta scenārija specifikai;
- Vairākas MA-u sistēmas piedāvā grafisko izstrādes vidi. Tomēr pat šajās sistēmās MA-us izstrādā kādā no programmēšanas valodām, kas neļauj cilvēkiem bez tehniskām zināšanām un pieredzes programmēšanā to veikt;
- Promocijas darbā ir izstrādāta uz darbplūsmām bāzētā MA-u sistēma. Sistēmas pamatā ir darbplūsmu izmantošana MA-u izstrādei un izpildei. MA-u izstrādei izmanto promocijas darbā izstrādāto un aprakstīto grafisko izstrādes rīku, kas ļauj definēt secīgas aģenta darbības, kā darbplūsmas soļus. Pieeja ļauj nodrošināt stipro MA-u mobilitāti.

Jaunie teorētiskie rezultāti ir šādi:

- Analizējot zināmās MA-u sistēmas ir identificēti divi aspekti, kurus ir nepieciešams uzlabot, lai sistēmas izmantotu BPV scenārijos:
  - Cilvēki, kuriem nav pamatzināšanu programmēšanā, nevar izstrādāt MA-us;

- Nav definēts bāzes MA-u pakotņu formāts aģentu uzglabāšanai un pārsūtīšanai;
- Izstrādāts un aprakstīts uz darbplūsmām bāzēto MA-u izstrādes un izpildes process, kas ļauj definēt MA-us cilvēkiem bez pieredzes programmēšanā;
- Izstrādāts un aprakstīts bāzes MA-u pakotņu formāts, kas implementē MA-u sistēmu pamatprasības, un ir paplašināms, tādējādi ļaujot to pielāgot konkrētā scenārija specifikai.

## **4. MOBILO AĢENTU SISTĒMA MĀKOŅA BPVS INTEGRĀCIJAI**

Šīs nodaļas mērķis ir aprakstīt izstrādāto mobilo aģentu sistēmas arhitektūru, *AgentWF* prototipa implementāciju, risinājuma aprobācijas scenārijus un aprobācijas rezultātus.

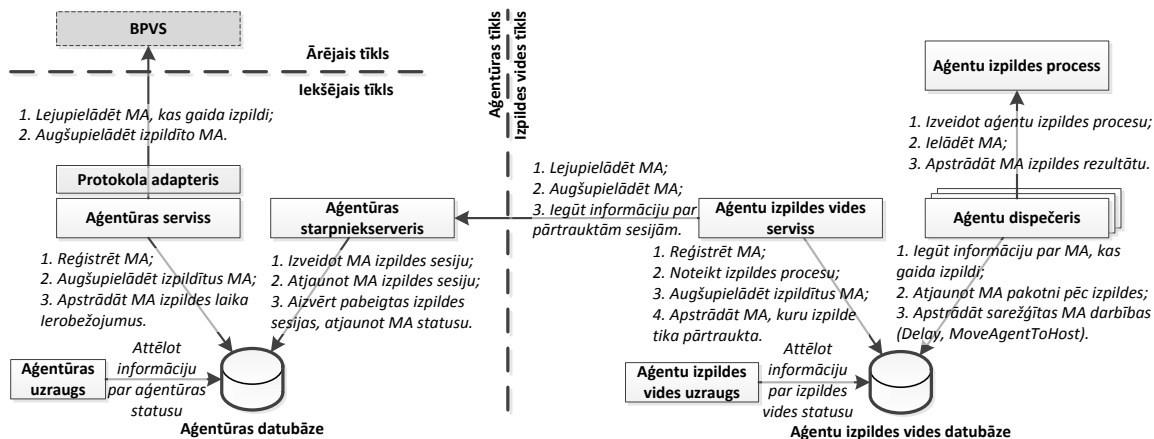
### **4.1. Mobilo aģentu sistēmas uzbūve un arhitektūra**

#### **4.1.1. Mobilo aģentu sistēmas arhitektūra**

Promocijas darbā veiktās biznesa procesu vadības sistēmu (BPVS) un mobilo aģentu (MA) sistēmu analīzes rezultātā ir identificētas vairākas prasības, kuras ir jāņem vērā, izstrādājot MA-u sistēmu mākoņa BPVS integrācijai ar uzņēmumā esošām sistēmām un ierīcēm:

- 1) Jānodrošina integrācija ar mākoņa sistēmu bez nepieciešamības pārkonfigurēt organizācijā esošo ugunsdzēsības vai tīkla infrastruktūru;
- 2) Jānodrošina mākoņa BPVS specifiskas integrācijas prasības;
- 3) Lai nodrošinātu sistēmas attīstības iespējas, ir jāparedz mērogojamība visos sistēmas līmeņos, kā arī iespēja dinamiski pievienot jaunas komponentes;
- 4) Jānodrošina MA-u sistēmu pamatprasības;
- 5) Izstrādājot sistēmu, ir jāņem vērā vispārējie korporatīvo datu drošības aspekti;
- 6) Jānodrošina MA-u pārsūtīšana starp aģentu izpildes vidēm sarežģītu tīkla infrastruktūru gadījumos, kad izpildes vides nav apvienotas vienā tīklā vai dinamiski maina savu atrašanās vietu tīklā;
- 7) Jānodrošina iespēja cilvēkiem bez pieredzes programmēšanā izstrādāt MA-us.

Lai apmierinātu šīs prasības, promocijas darbā ir izstrādāta jauna MA-u sistēmas arhitektūra, kas implementē ar aģentiem atbalstītas BPV principu. MA-u izstrādei un izpildei ir izmantota promocijas darbā piedāvātā uz darbplūsmām bāzētā MA-u izstrādes un izpildes pieeja. MA-i tiek glabāti un pārsūtīti MA-u pakotņu veidā, kas tiek veidotas, izmantojot promocijas darbā izstrādāto un aprakstīto MA-u pakotņu formātu. Sistēmas arhitektūra ir parādīta 4.1. attēlā. MA-u sistēmas komponentes ir sadalītas trīs kategorijās: aģentu izstrādes rīki, aģentūras komponentes un aģentu izpildes vides komponentes.



4.1. att. Sistēmas arhitektūra [62]

MA-u izstrāde notiek, izmantojot grafisko izstrādes rīku (*Agent Designer*), kas ļauj definēt secīgas aģenta darbības kā darbplūsmas soļus.

Aģentūra sastāv no piecām komponentēm:

- BPVS protokola adaptera (*Protocol Handler*), kas nodrošina informācijas apmaiņu ar specifisko BPVS;
- Aģentūras servisa (*Agency Service*), kas nodrošina aģentūras darbību un informācijas apmaiņu ar BPVS;
- Aģentūras datubāzes (*Agency Database*), kas uztur informāciju par izpildes vidēm, MA-iem un MA-u izpildes sesijām;
- Aģentūras starpniekservera (*Agency Proxy*), kas apstrādā pieprasījumus no aģentu izpildes vidēm;
- Aģentūras uzrauga (*Agency Monitor*), kas attēlo informāciju par aģentūras tekošo stāvokli.

Aģentūras mērogojamību panāk, pievienojot papildus aģentūras servisa un aģentūras starpniekservera komponentes, kā arī palielinot veiktspēju aģentūras datubāzes serveriem.

Aģentu izpildes vide sastāv no piecām komponentēm:

- Aģentu izpildes vides servisa (*Agent Host Service*), kas nodrošina aģentu izpildes vides darbību un informācijas apmaiņu ar aģentūru;
- Aģentu izpildes vides datubāzes (*Agent Host Database*), kas uztur informāciju par MA-iem un to izpildes stāvokļiem;
- Aģentu dispečera (*Agent Dispatcher*) – servisa, kas nodrošina aģentu izpildi;
- Aģentu izpildes procesa (*Agent Executor*), kas nodrošina aģentu izpildi izolētā vidē;
- Aģentu izpildes vides uzrauga (*Agent Host Monitor*), kas attēlo informāciju par aģentu izpildes vides tekošo stāvokli.

Aģentu izpildes vides mērogojamību panāk, pievienojot papildus aģentu izpildes vides servisa un aģentu dispečera komponentes, kā arī palielinot veiktspēju aģentu izpildes vides datubāzes serveriem.

Sistēmas arhitektūra ir izstrādāta tādā veidā, ka informācijas apmaiņu iniciē tikai no klienta puses (no aģentūras uz BPVS, vai no aģentu izpildes vides uz aģentūru). Informācijas apmaiņa tiek nodrošināta, izmantojot plaši pielietotus protokolus HTTP un HTTPS. Piedāvātā arhitektūrā izmanto šādus standartus un atvērtās specifikācijas: OPC [100], XML [18], XML kriptēšanu [122], XAML [17, 121], JSON [45], X509 sertifikātus (digitālai parakstīšanai un kriptēšanai) [38, 39]. MA-a izpildes process notiek šādi:

- MA-a izpilde tiek iniciēta ārējā sistēmā, kas apraksta, no kuras aģentu definīcijas ir jāizveido MA-a eksemplārs, un MA-a eksemplāra inicializācijas parametrus: ieejas datus, papildfailus un izpildes vides nosaukumu, kurā jāuzsāk MA-a izpilde;
- Aģentūras serviss, ievērojot konfigurācijas parametrus norādīto laika intervālu, pieslēdzas ārējai sistēmai, lai pārbaudītu vai aģentūrai ir jāuzsāk MA-a izpilde. Lai uzsāktu MA-a izpildi, aģentūras serviss lejupielādē MA-a definīciju un eksemplāra inicializācijas parametrus, izveido jaunu MA-a eksemplāru un ģenerē tam unikālu aģenta identifikatoru. MA-a eksemplāru reģistrē aģentūras datubāzē. Papildus aģentūras serviss var pārbaudīt MA-a definīcijas digitālo parakstu un pieņemt izpildei tikai MA-us, kas ir parakstīti ar konfigurācijas parametrus norādītiem sertifikātiem;
- Aģentu izpildes vides serviss, ievērojot konfigurācijas parametrus norādīto laika intervālu, pieslēdzas aģentūras starpniekserverim, lai pārbaudītu, vai aģentūrā ir reģistrēti MA-i, kas gaida izpildi šajā izpildes vidē. Ja šāds MA ir reģistrēts, aģentūras starpniekserveris izveido aģentūras datubāzē jaunu MA-a izpildes sesiju un nosūta MA-u izpildes videi. Izpildes vides serviss lejupielādē MA-u un reģistrē to lokālā izpildes vides datubāzē. Analizējot MA-a digitālo parakstu, izpildes vides serviss var noteikt, kurš aģentu dispečers būs atbildīgs par MA-a izpildi. Tas ļauj izpildīt dažādus MA-us ar dažādiem drošības iestatījumiem, jo katrs aģentu dispečers darbojas kā izolēts process, kuram var tikt ierobežotas tiesības piekļūt lokālās sistēmas resursiem. Turpmāk aģentu izpildes vides servisam ir regulāri jānosūta aģentūras starpniekserverim ziņojumi ar apliecinājumu, ka MA-a izpildes sesijas apstrāde tiek turpināta. Ja šādi ziņojumi netiek saņemti, tiek pieņemts, ka MA-a izpildes sesijas apstrāde ir pārtraukta, piemēram, izpildes vides aparatūras bojājuma dēļ. Šajā gadījumā aģentūras serviss izdzēš reģistrēto MA-a izpildes sesiju un nomaina MA-a stāvokli uz to, ka tas gaida izpildi;
- Aģentu dispečers, ievērojot konfigurācijas parametrus norādīto laika intervālu, pieslēdzas aģentu izpildes vides datubāzei, lai nolasītu informāciju par MA-iem, kurus ir jāizpilda šajā procesā. MA-a izpilde notiek izolētā aģentu izpildes procesā. Katram MA-

am aģentu dispečers izveido jaunu izolētu izpildes procesu un ielādē tajā darbplūsmu izpildes vidi un globālās bibliotēkas (bibliotēkas, kas ir pieejamas visiem MA-iem, kurus izpilda šis aģentu dispečers). Tālāk izpildes procesā tiek ielādēta aģenta pakotne: MA-a iekļautās bibliotēkas, MA-a darbplūsma un pēdējais saglabātais stāvoklis. Kad aģenta pakotne ir ielādēta, aģentu dispečers uzsāk MA-a izpildi un gaida tās pabeigšanu. MA-a izpildes laiks ir ierobežots – ja MA-a izpilde netiek pabeigta noteiktajā laika intervālā, dispečers apstādina MA-a izpildes procesu un pieņem, ka MA-a izpilde ir pabeigta ar kļūdu. Beidzoties MA-a izpildei, dispečers atjauno MA-a pakotni un saglabā to izpildes vides datubāzē. Tālāk MA tiek apstrādāts ar izpildes vides servisu un nosūtīts aģentūras starpniekservisam, kas reģistrē to aģentūras datubāzē. Dispečers apstrādā arī sarežģītas MA-u darbplūsmas darbības – pārsūtīšanas pieprasījumus (*MoveAgentToHost*) un pārtraukumu uz laiku (*Delay*). Pārsūtīšanas pieprasījuma gadījumā dispečers saglabā MA-a pakotni izpildes vides datubāzē, norādot, uz kuru izpildes vidi aģents ir jāpārsūta. Pārtraukuma uz laiku gadījumā dispečers datubāzē saglabā MA-a pakotni un norāda laiku, kad tiks turpināta MA-a izpilde;

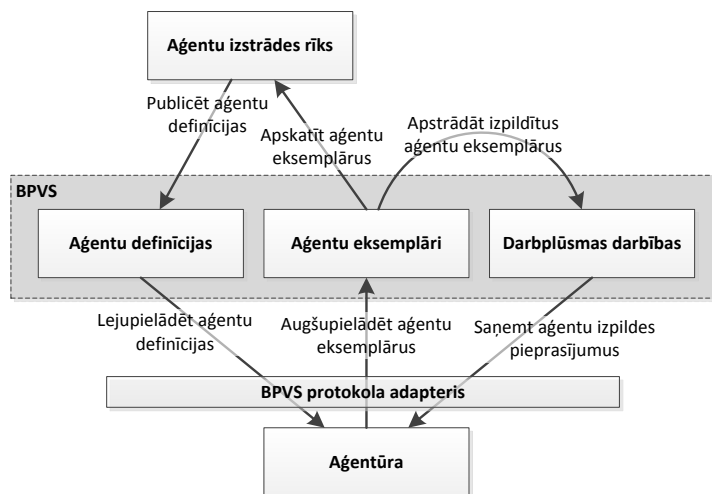
- Aģentūras serviss, ievērojot konfigurācijas parametros norādīto laika intervālu, pārbauda, vai aģentūras datubāzē ir reģistrēti MA-i, kuru izpilde ir pabeigta, un augšupielādē tos ārējā sistēmā, kas iniciēja MA-u izpildi.

#### **4.1.2. Mobilo aģentu sistēmas integrācijas ar mākoņa BPVS apraksts**

Lai nodrošinātu MA-u sistēmas integrāciju ar mākoņa BPVS, ir nepieciešamas četras komponentes [61]:

- BPVS protokola adapteris (*Protocol Handler*), kas nodrošina informācijas apmaiņu ar specifisku BPVS;
- aģentu definīciju glabātuve (*Agent Definitions Store*), kurā uzglabā aģentu definīcijas;
- aģentu eksemplāru glabātuve (*Agent Instance Store*), kurā uzglabā aģentu eksemplārus;
- aģentu darbplūsmas darbības (*Workflow Actions*), kas nodrošina MA-u operāciju integrāciju darbplūsmu modeļos, piemēram, iniciē MA-a izpildi vai apstrādā MA-a izpildes rezultātus;

Komponentes un to integrācija ar MA-u sistēmas aģentūru un aģentu izstrādes rīku ir parādītas 4.2. attēlā.



4.2. att. Sistēmas integrācija ar BPVS [61]

BPVS protokola adapteris ir obligāta komponente, jo bez tās integrācija ar BPVS nav iespējama. Lai izstrādātu protokola adapteri, BPVS ir jānodrošina interfeisi integrācijai ar ārējām sistēmām. Informācijas apmaiņa starp aģentūru un BPVS notiek tikai, izmantojot protokola adapteri.

Aģentu definīciju un eksemplāru glabātuves ir obligātas komponentes, kuras ir vēlams implementēt kā BPVS paplašinājumu. Šajā gadījumā gan darbplūsmu modeļi, gan tajos izmantotās aģentu definīcijas glabāsies centralizēti (vienā sistēmā). Nav nepieciešams arī izstrādāt atsevišķu mehānismu MA-u izpildes rezultātu nodošanai BPVS, jo to var nolasīt no aģentu eksemplāra. Aģentu definīcijas tiek glabātas MA-u definīciju pakotņu failu veidā (.awfd). Aģentu eksemplāri tiek glabāti pakotņu veidā (kā .awfx faili) vai kā pakotnē iekļautu failu kopa, lai vienkāršotu eksemplāra izpildes rezultātu apstrādi.

Ja aģentu definīcijas un eksemplārus nav iespējams glabāt BPVS, tiem ir jāparedz atsevišķa glabātuve, piemēram, izmantojot failu serveri. Glabātuvei jāatbilst šādām prasībām [61]:

- iespējai uzglabāt .awfd un .awfx MA-u pakotņu failus;
- iespējai publicēt MA-u definīcijas, kas ir izstrādātas aģentu izstrādes rīkā;
- komunikācijas protokolu nodrošināšanai, kurus izmantojot, aģentūra var lejupielādēt MA-u definīcijas pakotnes un augšupielādēt MA-u eksemplārus;

Šajā gadījumā ir jāizstrādā arī atsevišķu komponenti informācijas apmaiņas nodrošināšanai starp aģentūru un aģentu definīciju, un eksemplāru glabātuvēm. Papildus ir jāizstrādā mehānisms kā MA izpildes rezultāts tiks nodots BPVS.

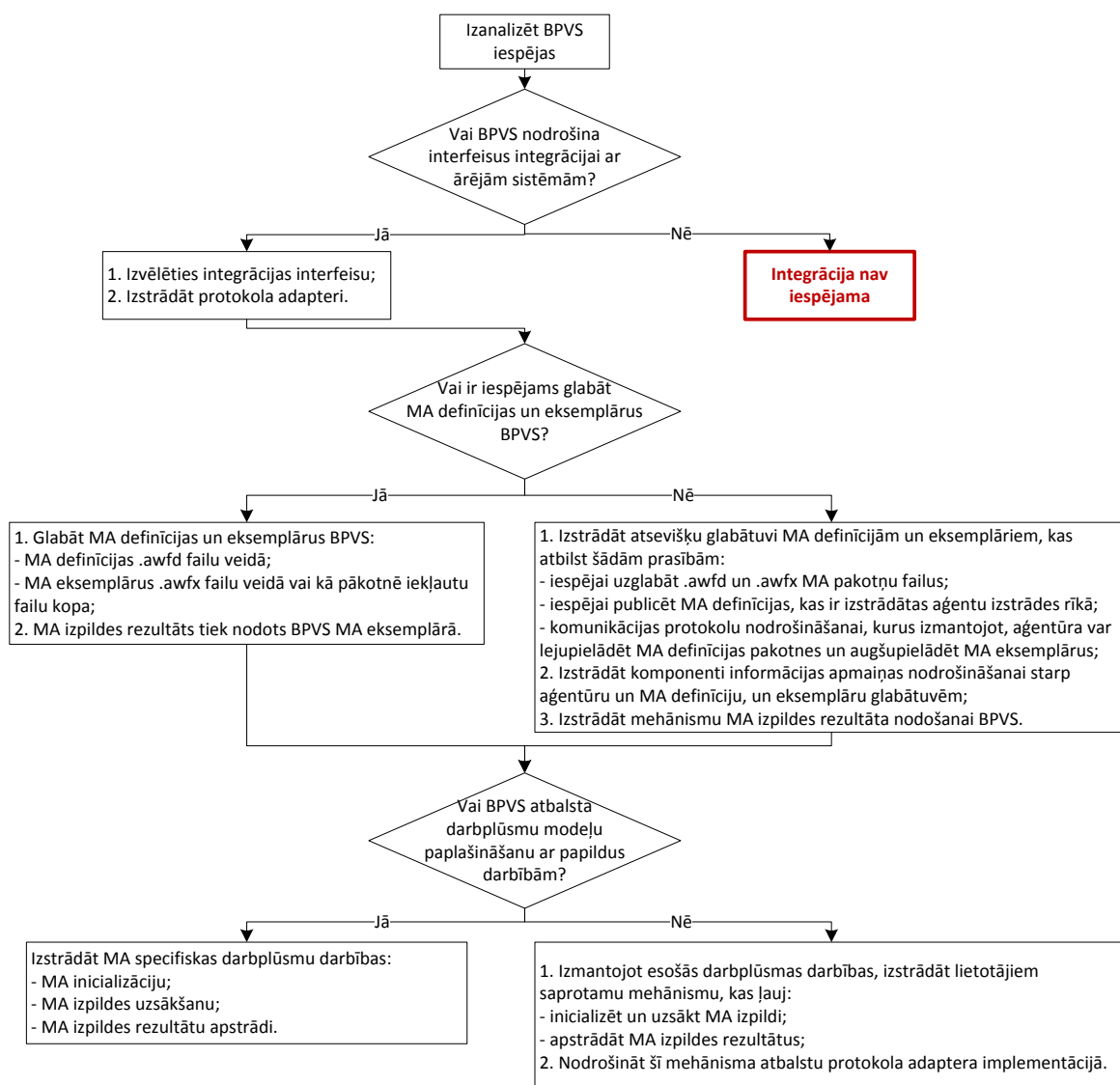
Aģentu darbplūsmas darbības ļauj vienkāršot MA-u integrāciju BPVS darbplūsmu modeļos. Ja BPVS atbalsta darbplūsmu modeļu paplašināšanu ar papildus darbībām, ir ieteicams izstrādāt šādas MA-u specifiskas darbplūsmu darbības [61]:

- MA-a inicializāciju, norādot MA-a definīciju un inicializācijas parametrus (ieejas datus, papildu failus un izpildes vides nosaukumu, kurā jāuzsāk MA-a izpilde);
- MA-a izpildes uzsākšanu;
- MA-a izpildes rezultātu apstrādi.

Ja BPVS neatbalsta darbplūsmu modeļu paplašināšanu, tad, izmantojot esošās darbplūsmas darbības, ir jāizstrādā lietotājiem saprotams mehānisms, kas ļauj inicializēt un uzsākt MA-u izpildi, kā arī apstrādāt MA-u izpildes rezultātus. Piemēram, tas var tikt panākts ar BPVS darbplūsmas uzdevumiem [61]:

- lai uzsāktu MA-a izpildi, tiek ģenerēts jauns uzdevums. Uzdevuma aprakstā iepriekš definētā veidā tiek iekļauti MA-a inicializācijas parametri;
- MA-a izpildei beidzoties, tiek nomainīts uzdevuma statuss un uzdevuma metadatos tiek iekļauti MA-a izpildes rezultāti.

Promocijas darbā izstrādātais BPVS analīzes algoritms, kas ļauj noskaidrot iespējamās MA-u un BPVS integrācijas veidus, ir parādīts 4.3. attēlā.



4.3. att. BPVS un mobilo aģentu integrācijas veidu analīzes algoritms [61]

## 4.2. AgentWF prototipa apraksts

Lai veiktu izstrādātās MA-u sistēmas arhitektūras aprobāciju, ir izveidots prototips *AgentWF*. Tajā ir implementētas visas izstrādātās arhitektūras komponentes. Prototips ir izstrādāts, izmantojot *Microsoft .NET Framework 4.0* programmatūras izstrādes platformu. Tas ļauj izmantot vairākas iebūvētās iespējas:

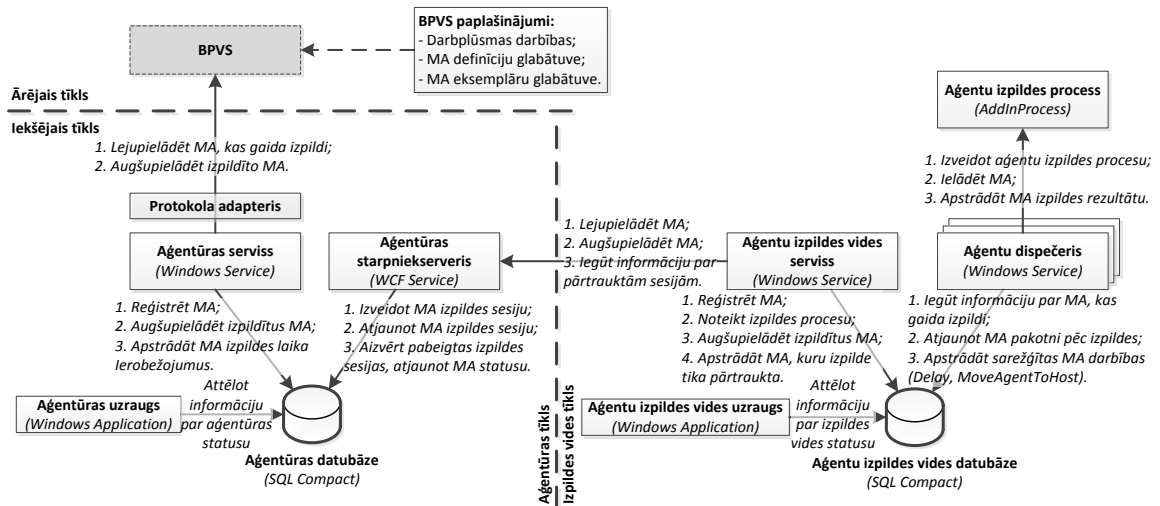
- *Windows Workflow Foundation (WF)* [117] – darbplūsmu izstrādei un izpildīšanai;
- *Windows Communication Foundation (WCF)* [115] – informācijas apmaiņai starp risinājuma komponentēm;
- *Windows Presentation Foundation (WPF)* [116] – grafisko lietotāju saskarņu izstrādei;
- *Packaging API* [105] – OPC [100] pakotņu izveidošanai un apstrādei;
- *AddIn Framework* [1] – programmas izpildei izolētā vidē;
- *Reflection* [82] – dinamiskai bibliotēku un klašu ielādei;
- *Serialization* [92] – serializācijai un deserializācijai JSON, XAML un XML formātos.

Kā datubāzes pārvaldības sistēma lokālām aģentūru un aģentu izpildes vides datubāzēm ir izmantota *SQL Server Compact edition* [98]. Tā ļauj vienkārši pievienot jaunas aģentūras un aģentu izpildes vides, jo nevajag instalēt un konfigurēt datubāzes serveri. Tā kā *AgentWF* neizmanto specifiskās *SQL Server Compact* iespējas, risinājumu var izmantot arī ar citām *SQL Server* versijām [99].

Prototipā ir implementēti šādi MA-u sistēmu drošības mehānismi:

- Akreditācijas datu pārbaude – atsevišķas MA-u pakotnes daļas tiek digitāli parakstītas, izmantojot X509 sertifikātus, lai nodrošinātu, ka tās netiek mainītas MA-u pārsūtīšanas un izpildes laikā;
- Piekļuves līmeņa uzraudzība un kontrole – MA-i tiek izpildīti izolētā vidē. Analizējot aģenta digitālā paraksta sertifikāta informāciju, MA-i tiek izpildīti dažādos piekļuves līmeņos;
- Ierobežojumu tehnikas – aģentu izpildi kontrolē ar vairākiem laika ierobežojumiem, piemēram, ar kopējo izpildes laiku sistēmā, vai ar vienas MA-a izpildes sesijas ilgumu;
- Notikumu reģistrēšana – informācija par visām MA-a darbībām tiek ierakstīta aģenta žurnālfailā;
- Bojājumpiecietība – aģenta darbplūsmas stāvokļa „notveršana” un izpildes atjaunošana no pēdējā saglabātā stāvokļa;
- Šifrēšana – sensitīvos konfigurācijas parametrus kriptē, izmantojot X509 sertifikātus. Šos parametrus var nolasīt tikai izpildes vidēs, kur ir uzstādīts atbilstošais sertifikāts.

4.4. attēlā promocijas darbā izstrādātā MA-u sistēmas arhitektūra (4.1. att.) ir papildināta ar *AgentWF* prototipa implementācijas detaļām.



4.4. att. *AgentWF* arhitektūra [62]

### 4.3. Aprobācija

Lai validētu piedāvāto BPVS integrācijas pieeju, MA-u izstrādes procesu un MA-u sistēmas arhitektūru, ir implementēti vairāki aprobācijas scenāriji, izmantojot *AgentWF* prototipu. Aprobācijas scenāriji ir izstrādāti, ņemot vērā Latvijas specifiku:

- Kā mākoņa BPVS ir izvēlēta Latvijā pieejamā *SharePoint Online* sistēma, kas ir *Office 365* sastāvdaļa [69];
- Kā uzņēmumā esoša sistēma ir izvēlēta Latvijā izplatītā grāmatvedības sistēma *Tildes Jumis* [106];
- Aģentu digitālai parakstīšanai ir izmantota Latvijas personas apliecība (eID) [14].

Ir implementēti seši aprobācijas scenāriji:

- 1) Aģentu izstrāde un droša izpilde: aģentu izstrāde, izmantojot uz darbplūsmām balstīto rīku; stipras mobilitātes nodrošināšana, pārsūtot aģentu starp izpildes vidēm; aģenta izpildes pārtraukšana nepareizas uzvedības gadījumā.
- 2) Sensitīvas aģenta konfigurācijas informācijas aizsargāšana, izmantojot kriptēšanu;
- 3) Mobilo aģentu sistēmas integrācija ar mākoņa BPVS, izmantojot *SharePoint Online* sistēmu kā paraugu;
- 4) Mobilo aģentu pakotņu parakstīšana, izmantojot Latvijas personas apliecību (eID);
- 5) Uzņēmumā esošās sistēmas datu izmantošana mākoņa BPVS: *Tildes Jumis* datu izmantošana *SharePoint Online* darbplūsmās;
- 6) Uzņēmumā esošās aparatūras izmantošana mākoņa BPVS: printeru izmantošana *SharePoint Online* darbplūsmās.

Aprobācijas rezultāti ļauj izdarīt šādus secinājumus:

- 1) Izstrādātā MA-u sistēmas arhitektūra nodrošina mākoņa BPVS integrāciju ar organizācijas iekšējā tīklā esošajām informācijas sistēmām un aparāturu;
- 2) Grafiskā uz darbplūsmām balstītā MA-u izstrādes rīka izmantošana ļauj izstrādāt MA-us, tos neprogrammējot;
- 3) Sistēma nodrošina stipro MA-u mobilitāti:
  - pārsūtot aģentu, MA-a pakotnē tiek iekļauts pilns darbplūsmas izpildes stāvoklis, kas satur arī visu darbplūsmas mainīgo vērtības;
  - atjaunojot MA-a izpildi, darbplūsmas izpilde tiek turpināta no saglabātā stāvokļa;
  - MA-a pārsūtīšanas process neprasa programmētāju iesaisti;
- 4) Programmētāju iesaiste ir vajadzīga, lai:
  - izstrādātu papildus aģentu darbplūsmas darbības, kas var būt vajadzīgas, piemēram, MA-u integrācijai ar uzņēmuma informācijas sistēmām, vai aparāturu;
  - izstrādātu BPVS protokola adapterus MA-u sistēmas integrācijai ar BPVS;
- 5) MA-u sistēmas aģentūras un izpildes vides uzstādīšanas un konfigurēšanas process prasa specifiskas tehniskas zināšanas. Lai vienkāršotu šo procesu, sistēmu ir vēlams paplašināt ar uzstādīšanas vedņiem (*wizard*) un grafiskiem konfigurācijas rīkiem aģentūrām un aģentu izpildes vidēm;
- 6) Izstrādātais BPVS un mobilo aģentu integrācijas veidu analīzes algoritms ļauj noteikt iespējamo integrācijas scenāriju un integrācijai nepieciešamās komponentes. Lai integrācija būtu iespējama, BPVS ir jāpiedāvā interfeisi integrācijai ar ārējām sistēmām. Atkarībā no citām BPVS iespējām, izstrādātāji var izvēlēties, kur tiks glabātas aģentu definīcijas un eksemplāri, kā aģentu izpildes rezultāts tiks nodots BPVS un kā MA-u izpildes iniciēšana un rezultātu apstrāde tiks integrēta ar BPVS darbplūsmām un darbplūsmu izstrādes rīkiem. *SharePoint Online* gadījumā, izmantojot piedāvātās sistēmas paplašināšanas iespējas, var implementēt visas identificētās integrācijas komponentes;
- 7) Aprobācijas scenārijos ir pierādīts, ka BPVS un MA-u integrācijas risinājums nodrošina vispārējus korporatīvo datu drošības aspektus:
  - Informācijas apmaiņai ar BPVS ir izmantots drošs datu apmaiņas kanāls (HTTPS);
  - BPVS ir izveidots servisa lietotāja konts, kuram ir norādītas minimālās nepieciešamās pieejas tiesības (piekļuve lasīšanas režīmā aģentu definīciju bibliotēkai, un lasīšanas un rakstīšanas režīmos aģentu eksemplāru bibliotēkai);
  - Veidojot pieslēgumu BPVS, MA-u sistēma izmanto servisa lietotāja akreditācijas datus;

- Aģentu konfigurācijas parametri, kas satur sensitīvu informāciju, piemēram, uzņēmuma iekšējo sistēmu savienojuma virknes, tiek aizsargāti, lietojot kriptēšanu;
  - Aģenti ir digitāli parakstīti. Pirms izpildes parakstītā aģenta pakotne tiek validēta, lai pārliecinātos, ka tās saturs nav mainīts. Aģentūras konfigurācijas parametrus norāda, ar kādiem sertifikātiem parakstītus MA-us aģentūra pieņem izpildei;
- 8) Sistēmā digitālai parakstīšanai un kriptēšanai ir lietoti standarta X509 sertifikāti. Tas ļauj izmantot esošos sertifikācijas pakalpojumu sniedzēju risinājumus, piemēram, Latvijas personas apliecību digitālas parakstīšanas sertifikātus;
- 9) Uz MA-iem balstīts integrācijas risinājums ļauj nodrošināt asinhronas integrācijas scenārijus. Tālāk ir uzskaitīti gadījumi, kad ir labāk izvēlēties citus BPVS un uzņēmumā esošo informācijas sistēmu integrācijas veidus:
- kad ir jānodrošina reālā laika sinhrona integrācija (BPVS nosūta pieprasījumu un gaida atbildi no uzņēmuma informācijas sistēmas);
  - kad ir jānodrošina īsākais iespējamais informācijas pieprasījuma apstrādes laiks (MA-u pārsūtīšana ievērojami palielina pieprasījumu apstrādes laiku).

#### **4.4. Secinājumi**

Galvenie secinājumi ir šādi:

- Promocijas darbā izstrādātā MA-u sistēmas arhitektūra implementē ar aģentiem atbalstītas BPV principu. MA-u sistēmas komponentes ir sadalītas trīs kategorijās: aģentu izstrādes rīki, aģentūras un aģentu izpildes vides komponentes. MA-u izstrādei un izpildei ir izmantota promocijas darbā piedāvātā uz darbplūsmām bāzētā MA-u izstrādes un izpildes pieeja. MA-i tiek glabāti un pārsūtīti MA-u pakotņu veidā, kas tiek veidotas, izmantojot promocijas darbā izstrādāto un aprakstīto MA-u pakotņu formātu. Arhitektūrā ir izmantoti šādi standarti un atvērtās specifikācijas: OPC [100], XML [18], XML kriptēšana [122], XAML [17, 121], JSON [45], X509 sertifikāti (digitālai parakstīšanai un kriptēšanai) [38, 39];
- Lai nodrošinātu MA-u sistēmas integrāciju ar mākoņa BPVS, ir vajadzīgas četras komponentes: BPVS protokola adapteris, aģentu definīciju glabātuve, aģentu eksemplāru glabātuve un aģentu darbplūsmas darbības. Eksistē vairāki šo komponentu implementācijas veidi. Promocijas darbā ir izstrādāts BPVS analīzes algoritms, kas ļauj noskaidrot iespējamās MA-u un BPVS integrācijas veidus, analizējot BPVS tehniskās iespējas. Aģentu definīciju un eksemplāru glabātuves ir ieteicams implementēt kā BPVS paplašinājumu. Ja BPVS atbalsta darbplūsmu modeļu paplašināšanu ar papilddarbībām, ir ieteicams izstrādāt šādas MA-u specifiskas

darbplūsmu darbības: MA-a inicializāciju, MA-a izpildes uzsākšanu un MA-a rezultātu apstrādi.

- Lai veiktu piedāvātās MA-u sistēmas arhitektūras aprobāciju, ir izstrādāts prototips *AgentWF*. Tajā ir implementētas visas piedāvātās arhitektūras komponentes;
- Lai validētu izstrādāto BPVS integrācijas pieeju, MA-u izstrādes procesu un MA-u sistēmas arhitektūru, ir implementēti seši aprobācijas scenāriji, izmantojot *AgentWF* prototipu;
- Aprobācijas rezultātā ir pierādīts, ka izstrādātā MA-u sistēmas arhitektūra nodrošina visas analīzes rezultātā definētās prasības;
- Izstrādātais integrācijas risinājums ļauj nodrošināt asinhronas integrācijas scenārijus. Gadījumos, kad ir jānodrošina reālā laika sinhrona integrācija vai kad ir jānodrošina īsāko iespējamo informācijas pieprasījuma apstrādes laiku labāk ir izvēlēties citus BPVS un uzņēmuma esošo informācijas sistēmu integrācijas veidus.

Jaunie teorētiskie rezultāti ir šādi:

- Izstrādāts un aprakstīts BPVS un mobilo aģentu integrācijas veidu analīzes algoritms, kas ļauj noteikt iespējamo integrācijas scenāriju un integrācijai nepieciešamās komponentes;
- Izstrādāta un aprakstīta MA-u sistēmas arhitektūra integrācijas nodrošināšanai starp mākoņa BPVS un organizācijās esošajām informācijas sistēmām un aparatūru.

Jaunie praktiskie rezultāti ir šādi:

- Izstrādāts *AgentWF* prototips, kurā ir implementētas visas arhitektūrā aprakstītās komponentes;
- Prototips ir aprobēts un pierādīts, ka tas veic visas definētās funkcijas.

## **GALVENIE REZULTĀTI UN SECINĀJUMI**

Promocijas darbā tika izvirzīts mērķis izstrādāt mehānismu integrācijas nodrošināšanai starp mākoņa BPVS un organizācijās esošajām informācijas sistēmām un aparatūru, un praktiski realizēt to programmatūras sistēmā, veicot arī izstrādātās sistēmas eksperimentālu pārbaudi. Izvirzītā mērķa sasniegšanai tika realizēti šādi uzdevumi:

- Iztīrta biznesa procesu vadības problēmsfēras attīstības vēsture un aktuālās problēmas, kā arī tas, kuras no šīm problēmām tiek risinātas, izmantojot biznesa procesu vadības sistēmas;
- Veikta biznesa procesu vadības sistēmu uzbūves principu analīze;
- Iztīrta mākoņa BPVS integrācijas scenāriju specifika un zināmie risinājumi integrācijas nodrošināšanai;

- Veikta esošo mobilo aģentu sistēmu analīze ar mērķi izvērtēt, vai zināmās sistēmas var izmantot šajā scenārijā;
- Izstrādāta mobilo aģentu sistēmas arhitektūra integrācijas nodrošināšanai starp mākoņa BPVS un organizācijās esošajām informācijas sistēmām un aparatūru;
- Veikta piedāvātās arhitektūras realizācija;
- Veikta izstrādātās sistēmas eksperimentāla pārbaude.

Pētījumu rezultātā ir izdarīti šādi secinājumi:

- BPV joma kopumā ir aktuāla uzņēmumiem. Procesu ieviešanai organizācijās arvien biežāk tiek izmantotas specializētas korporatīvas informācijas sistēmas – BPVS. Atsevišķa uzmanība tiek pievērsta mākoņa BPVS risinājumiem, kas ļauj uzņēmumiem samazināt BPVS ieviešanai nepieciešamās investīcijas;
- Mūsdienās ieviešot korporatīvas informācijas sistēmas izstrādātāju galvenais uzdevums ir nodrošināt biznesa procesa izpildi, veidojot integrācijas ar esošām specializētām sistēmām, kas tiek izmantotas nepieciešamo datu apstrādei. Mākoņa sistēmu gadījumā ir jānodrošina sistēmas integrācija ar uzņēmuma infrastruktūrā esošām informācijas sistēmām;
- Zināmie risinājumi nevar pilnībā nodrošināt vairākas specifiskas mākoņa BPVS integrācijas prasības:
  - Veikt sarežģītus aprēķinus tuvu datu avotiem lokālā tīklā, lai efektīvi apstrādātu lielus datu apjomus;
  - Veikt aprēķinus un apstrādāt datus, kas glabājas lokālās sistēmās lokālā tīklā drošības vai privātuma apsvērumu dēļ;
  - Operatīvi mainīt integrācijas iestatījumus, lai izmainītu biznesa procesu, reaģējot uz izmaiņām ārējā vidē;
  - Pieslēgties specifiskām sistēmām un aparatūrai, kas nenodrošina piekļuvi caur tīmekļa pakalpi vai datubāzes interfeisiem;

Šīs integrācijas problēmas promocijas darbā ir atrisinātas, izmantojot mobilo aģentu (MA) tehnoloģiju;
- Analizējot zināmās MA-u sistēmas, ir secināts, ka ir divi neatrisināti uzdevumi:
  - MA-u sistēmām jāpārsūta MA-i to izpildes laikā. Zināmās MA-u sistēmās ir līdzīgas prasības attiecībā uz informāciju, kas jāiekļauj pārsūtāmā MA-u pakotnē. Tomēr nav definēts kopējais MA-u pakotņu formāts. Tā vietā katra implementācija izmanto izvēlētās tehnoloģiskās platformas iespējas, lai serializētu aģenta programmas kodu un stāvokli;
  - Vairākas MA-u sistēmas piedāvā grafisko aģentu izstrādes vidi. Tomēr, pat šajās sistēmās, MA-i tiek izstrādāti kādā no programmēšanas valodām, tādēļ, cilvēkam

ir jābūt vismaz pamatzināšanās programmēšanā. Tas neļauj cilvēkiem bez tehniskām zināšanām un pieredzes programmēšanā izstrādāt MA-us, kas ir svarīgi, izmantojot aģentus BPVS integrācijas scenārijos, jo ir jāspēj ātri ieviest izmaiņas MA-os.

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

- Izstrādāta pieeja integrācijas nodrošināšanai starp mākoņa BPVS un organizācijās esošajām informācijas sistēmām un aparatūru, kas pamatojas uz darbā piedāvāto mobilo aģentu sistēmas arhitektūru;
- Izstrādāts un aprakstīts BPVS un MA-u integrācijas veidu analīzes algoritms, kas ļauj noteikt iespējamo integrācijas scenāriju un integrācijai nepieciešamās komponentes;
- Izstrādāta un aprakstīta MA-u sistēma, kuras pamatā ir darbplūsmu izmantošana mobilo aģentu izstrādei un izpildei, kas ļauj definēt mobilus aģentus cilvēkiem bez pieredzes programmēšanā;
- Izstrādāts un aprakstīts bāzes MA-u pakotņu formāts, kas implementē MA-u sistēmu pamatprasības, un ir paplašināms, kas ļauj to pielāgot konkrētā scenārija specifikai.

Iegūtie teorētiskie rezultāti praktiski ir realizēti *AgentWF* prototipā, kas ir aprobēts sešos scenārijos:

- Aģentu izstrāde un droša izpilde;
- Sensitīvas aģenta konfigurācijas informācijas aizsargāšana, izmantojot kriptēšanu;
- Mobilo aģentu sistēmas integrācija ar mākoņa BPVS, izmantojot *SharePoint Online* sistēmu kā paraugu;
- Mobilo aģentu pakotņu parakstīšana ar Latvijas personas apliecību (eID);
- Uzņēmumā esošās sistēmas datu lietošana mākoņa BPVS, izmantojot *Tildes Jumis* sistēmu kā paraugu;
- Uzņēmumā esošās aparatūras izmantošana mākoņa BPVS (integrācija ar printeriem).

Prototipa aprobācijas rezultātā ir pierādīts, ka tas veic visas definētās funkcijas.

Promocijas darbā sasniegtie rezultāti pamato izvirzīto tēžu patiesumu. Darba mērķis ir sasniegts un uzdevumi ir atrisināti.

Darbam ir pievienots kompaktdisks, kas satur izstrādātā prototipa instalācijas failus un pirmkodu. Prototipu var izmantot:

- konkrēta uzņēmuma vajadzībām – integrācijas nodrošināšanai starp mākoņa BPVS un organizācijās esošajām informācijas sistēmām un aparatūru;
- lai pārbaudītu darbā piedāvātās pieejas un mobilo aģentu sistēmas arhitektūras piemērotību citiem scenārijiem;

- kā darbā piedāvātās pieejas un mobilo aģentu sistēmas arhitektūras implementācijas paraugu, kas palīdzēs pielāgot risinājumu citām platformām, vai pārnest uz citām tehnoloģijām.

Turpmāko pētījumu iespējamie virzieni:

- Izanalizēt, vai ieviešot izmaiņas izstrādātajā integrācijas risinājumā, to var izmantot gadījumos, kad ir jānodrošina reālā laika sinhrona integrācija, vai kad ir jānodrošina īsāko iespējamo informācijas pieprasījuma apstrādes laiku;
- Paplašināt izstrādāto MA-u sistēmas arhitektūru, lai tā atbilstu MASIF standartam;
- Izpētīt iespējas izmantot izstrādāto MA-u pakotņu formātu citās MA-u sistēmās un scenārijos.

## LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Add-ins and Extensibility. Microsoft. Pieejams: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb384200.aspx> (apmeklēts: 01.08.2012).
2. Appian Announces Strong Growth in Q1 2011. Appian. Pieejams: <http://www.appian.com/bpm-company/news/press/appian-announces-strong-growth-in-q1-2011.jsp> (apmeklēts: 01.08.2012).
3. Bell T., Critical Capabilities for Composite Content Applications: Case Management, Gartner Research, 2010.
4. Bolstorff, P., Rosenbaum, R., Supply chain excellence: a handbook for dramatic improvement using the SCOR model, 2nd edn., Amacom, New York, 2007.
5. Bovet, D., Martha, J., Value nets: breaking the supply chain to unlock hidden profits. Wiley, New York, 2000.
6. Buchwald, H., Fleischmann, A., Seese, D., Stary, C., S-BPM One: Setting the Stage for Subject-Oriented Business Process Management, Springer-Verlag, 2010.
7. Chang, J. F., Business Process Management Systems, Strategy and Implementation. Auerbach Publications, 2005.
8. Cherbakov, L., Galambos, G., Harishankar, R., Kalyana, S., Rockham, G., Impact of service orientation at the business level. IBM System Journal 44(1):81–107, 2005.
9. Chess, D., Harrison, C., Kershenbaum, A., Mobile Agents: Are They a Good Idea? IBM Research Division, 1995.
10. Chrissis, M. B., Konrad, M., Shrum, S., CMMI second edition: guidelines for process integration and product improvement. Person Education, Addison-Wesley, New York, 2007.
11. Deitert, E., McCoy, D. W., The Anatomy of a Business Rule Management System, Gartner Research, 2007.
12. Delias, P., Doulamis, A., Matsatsinis, N., What agents can do in workflow management systems, Artif Intell Rev, 35:155–189, 2011.
13. Dixon, J., Jones, T., Hype Cycle for Business Process Management, Gartner Research, 2011.
14. eID karte. VAS Latvijas Valsts radio un televīzijas centrs. Pieejams: <https://www.eparaksts.lv/lv/eid-lietotajiem/kas-ir-eid/> (apmeklēts: 01.08.2012).
15. Enterprise Information Systems: Concepts, Methodologies, Tools and Applications. Idea Group Inc (IGI), ISBN 978-1-61692-852-0, 2010.
16. Erol, S., Granitzer, M., Happ, S., Jantunen, S., Jennings, B., Johannesson, P., Koschmider, A., Nurcan, S., Rossi, D., Schmidt, R., Combining BPM and social software: contradiction or chance?. J. Softw. Maint. Evol.: Res. Pract., 22: 449–476, 2010.
17. Extensible Application Markup Language (XAML). Microsoft. Pieejams: <http://www.microsoft.com/download/en/details.aspx?displaylang=en&id=19600> (apmeklēts: 01.08.2012).
18. Extensible Markup Language (XML). W3C. Pieejams: <http://www.w3.org/XML/> (apmeklēts: 01.08.2012).
19. Farmer, W. M., Guttman, J. D., Swarup, V., Security for Mobile Agents: Issues and Requirements, The MITRE Corporation, 1996.

20. Fuggetta, A., Picco, G. P., Vigna, G., Understanding code mobility, IEEE Transactions on Software Engineering, 1998
21. Gartner Survey Shows Spending on Business Process Management to Grow Significantly in 2011, Gartner. Pieejams: <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1740414> (apmeklēts: 01.08.2012).
22. Gassman, B., Business Activity Monitoring Architecture Evolution, Gartner Research, 2008.
23. Gassman, B., Business Activity Monitoring Helps Execute a Pattern-Based Strategy, Gartner Research, 2009.
24. Georgakopoulos, D., Hornick, M., Sheth, A.: An Overview of Workflow Management: From Process Modeling to Workflow Automation Infrastructure. Distributed and Parallel Databases 3, 119–153, 1995.
25. Greenberg, M., Byington, J., Harper, D., Mobile Agents and Security, IEEE Communications Magazine, 1998.
26. Grundspenkis, J., Kirikova, M., Impact of the intelligent agent paradigm on knowledge management. Intelligent knowledge-based systems: Business and technology in the new millennium (C.T. Leondes, Ed.), Vol. 1. Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 164-206, 2005.
27. Grundspenķis, J., Mislēvičs, A., Intelligent Agents for Business Process Management Systems. Infonomics for Distributed Business and Decision-Making Environments: Creating Information System Ecology, Malgorzata Pankowska (Karol Adamięcki University of Economics in Katowice, Poland), 2010, 97-131.
28. Grundspenkis, J., Pozdnyakov, D., An overview of the agent based systems for the business process management. Proceedings of the international conference on computer systems and technologies (CompSysTech'06), June 15-16, 2006, Veliko Tarnovo, Bulgaria, II.13-1 - II.13-6, 2006.
29. Gupta, P., Six Sigma business scorecard, 2nd edn. McGraw-Hill, New York, NY, 2006.
30. Gupta, R., Kansal, G., A Survey on Comparative Study of Mobile Agent Platforms, International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 3 No. 3, pp. 1943-1948, 2011.
31. Hai, H., Sakoda, S., SaaS and Integration Best Practices, Fujitsu Scientific Technology Journal, Vol. 45, No. 3, 257-264, 2009.
32. Hammer, M., Champy, J., Reengineering the corporation: a manifesto for business revolution. Harper Business, New York, NY, 1993.
33. Hammer, M., Deep change: how operational innovation can transform your company. Harv Bus Rev 82(4):84–96, 2004.
34. Hammer, M., What is Business Process Management? In: vom Brocke J, Rosemann M (eds) Handbook on business process management, vol 1. Springer, Heidelberg, 2010.
35. Harmon, P., Business process change. A guide for business managers and BPM and Six Sigma professionals, 2nd edn. Morgan Kaufman, San Francisco, CA, 2007.
36. Harmon, P., The Scope and Evolution of Business Process Management. In: vom Brocke J, Rosemann M (eds) Handbook on business process management, vol 1. Springer, Heidelberg, 2010.
37. Harrison-Broninski, K., Dealing with human-driven processes. In: vom Brocke J, Rosemann M (eds) Handbook on business process management, vol 2. Springer, Heidelberg, 2010.
38. Internet X.509 Public Key Infrastructure Certificate and Certificate Revocation List (CRL) Profile. IETF. Pieejams: <http://tools.ietf.org/html/rfc5280> (apmeklēts: 01.08.2012).
39. Internet X.509 Public Key Infrastructure: Certification Path Building. IETF. Pieejams: <http://tools.ietf.org/html/rfc4158> (apmeklēts: 01.08.2012).
40. Jablonski, S., Bussler, C.: Workflow Management: Modeling Concepts, Architecture, and Implementation. International Thomson Computer Press, London, 1996.
41. Jennings, N. R. An agent-based approach for building complex software systems. Communications of the ACM, 44(4), 35-41, 2001.
42. Jennings, N. R., et al., Autonomous agents for business process management. Applied Artificial Intelligence, 14, 145-189, 2000.
43. Jennings, N. R., Norman, T. J., Faratin, P., ADEPT: An agent-based approach to business process management. ACM SIGMOD Record, 27, 32-39, 1998.
44. Jennings, N. R., Sycara, K., Wooldridge, M., A roadmap of agent research and development. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1(1):7, 7-38, 1998.
45. JSON. Pieejams: <http://json.org/> (apmeklēts: 01.08.2012).
46. Kaplan, R., S., Norton, D., P., Strategy maps. Harvard Business School Press, Boston, MA, 2004.

47. Khan, R., N., Business process management: a practical guide. Meghan-Kiffer, Tampa, FL, 2004.
48. Kotz, D., Gray, R., Mobile agents and the future of the Internet. *ACM Operating Systems Review*, 33(3), 7-13, 1999.
49. Kotz, D., Gray, R., Rus, D., Future directions for mobile agent research. *IEEE Distributed Systems Online*, 3(8), 1-6, 2002.
50. Lange, D., & Oshima, M., Seven good reasons for mobile agents. *Communications of the ACM*, 42(3), 88-89, 1999.
51. Lawrence, P., *Workflow Handbook 1997*, Workflow Management Coalition. John Wiley and Sons, New York, 1997.
52. Leymann, F. et al., Business process management standards. In: vom Brocke J, Rosemann M (eds) *Handbook on business process management*, vol 1. Springer, Heidelberg, 2010.
53. Leymann, F., Roller, D.: *Production Workflow: Concepts and Techniques*. Prentice-Hall PTR, Upper Saddle River, 1999.
54. Liu, C., Chang, J., Yang, A., Analysis on Development Tendency of Business Process Management, *ICICA 2011, Part II, CCIS 244*, 629–636, 2011.
55. Liu, F., Guo, W., Zhao, Z. Q., Chou, W., SaaS Integration for Software Cloud, *IEEE*, 2010.
56. Liu, F., Wang, G., Chou, W., Li, L., TARGET: Two-way Web Service Router Gateway, *Proc. IEEE International Conference on Web Services*, 2006.
57. Ma, C., Caldera, A., Petridis, M., Bacon, L., Windall, G., Integration of BPM Systems. In: *Process Management*, Book edited by: Mária Pomffyová, ISBN 978-953-307-085-8, INTECH, Croatia, pp. 197-222, 2010.
58. Metasonic. Pieejams: <http://www.metasonic.de/> (apmeklēts: 01.08.2012).
59. Milojevic, D., Breugst, M., Busse, I., Campbell, J., et al., MASIF: The OMG Mobile Agent System Interoperability Facility, *Personal Technologies*, vol. 2, Nr. 2, pp. 117-129, 1998.
60. Mislēvičs, A., An Introduction to Mobile Agent-Supported Business Process Management. *Proceedings of The 4th International Conference "Information Society and Modern Business"*, Ventspils, Latvia, May 14-16, 2009, pp. 49-57, 2009.
61. Mislevis, A., Grundspenkis, J., Integrating Workflow-Based Mobile Agents with Cloud Business Process Management Systems, *International Journal on New Computer Architectures and Their Applications (IJNCAA)* vol. 2(4), The Society of Digital Information and Wireless Communications, ISSN: 2220-9085, pp. 511-530, 2012.
62. Mislēvičs, A., Grundspenķis, J., Mobile Agents for Integrating Cloud-Based Business Processes with On-Premises Systems and Devices, *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, vol.249: Databases and Information Systems VII, IOS Press, ISBN 978-1-61499-161-8, pp. 191-203, 2013.
63. Mislēvičs, A., Grundspenķis, J., Workflow Based Approach for Designing and Executing Mobile Agents, *Proceedings of The Second International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC12)*, ISBN 978-1-4673-1105-2, pp. 97-102, 2012.
64. Mitrovic, N., Arribalzaga, U. A., Mobile Agent security using Proxy-agents and Trusted domains. *Second International Workshop on Security of Mobile Agents*, 2002.
65. Murch, R., Johnson, T., *Intelligent software agents*. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1999.
66. Nwana, H., Software agents: An overview. *Knowledge Engineering Review*, 11(3), 1-40, 1996. Pieejams: <http://agents.umbc.edu/introduction/ao/> (apmeklēts: 01.08.2012).
67. O'Brien, P. D., Wiegand, M. E., Agent based process management: Applying intelligent agents to workflow. *The Knowledge Engineering Review*, 13(2), 161-174, 1998.
68. O'Reilly, C., A., Tushman, M., L., The ambidextrous organization. *Harv Bus Rev* 82(4):74–82, 2004.
69. Office 365. Microsoft. Pieejams: <http://www.microsoft.com/lv-lv/office365/online-software.aspx> (apmeklēts: 01.08.2012).
70. Olding, E., *Best Practices and Pitfalls for Business Process Competency Center Success*, Gartner Research, 2010.
71. Olding, E., Rosser, B., *Laying the Groundwork for Your BPM Initiative*, Gartner Research, 2008.
72. Olding, E., *Starting Up the Business Process Competency Center*, Gartner Research, 2007.
73. OMG, Business process maturity model (BPMM), Version 1.0, Standard document, 2008. Pieejams: <http://www.omg.org/spec/BPMM/1.0/PDF> (apmeklēts: 01.08.2012).
74. OMG, Business Process Model and Notation (BPMN), Version 2.0, Standard document, 2010. Pieejams: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/PDF> (apmeklēts: 01.08.2012).
75. Ottinger, J., Software as a Service Integration via Mule. MuleSoft. Pieejams: <http://mule.mulesource.org/> (apmeklēts: 01.08.2012).

76. Overeinder, B. J., de Groot, D. R. A., Wijngaards, N. J. E., Brazier, F. M. T., Generative Mobile Agent Migration in Heterogeneous Environments, Scalable Computing: Practice and Experience, Vol 7, No 4, 2006.
77. Pang, G., Implementation of an agent-based business process (Diploma thesis). Institut für Informatik der Universität Zürich, 2000.
78. Paulk, M., C. et al., The capability maturity model: guidelines for improving the software process. Addison-Wesley, Boston, MA, 1995.
79. Pohle, G., Korsten, P., Ramamurthy, S., Component business models: making specialization real. Whitepaper issued by IBM institute for business value. IBM Global Services, New York, 2005.
80. Poluha, R., G., Application of the SCOR model in supply chain management. Cambria Press, Amherst, NY, 2007.
81. Rama, J., Bishop, J., Towards a mobile agent framework for Nomad using .NET, Proceedings of SAICSIT, pp. 111–113, 2004.
82. Reflection in the .NET Framework. Microsoft. Pieejams: [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/f7ykdhsy\(v=vs.100\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/f7ykdhsy(v=vs.100).aspx) (apmeklēts: 01.08.2012).
83. Ries, E., The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses. Corwn Business, ISBN: 978-0-307-88789-4, 2011.
84. Rosemann, M., de Bruin, T., Power, B., BPM maturity. In: Jeston J, Nelis J (eds) Business process management. Practical guidelines to successful implementations. Elsevier, NY, pp. 299–315, 2006.
85. Rosemann, M., vom Brocke, J., The Six Core Elements of Business Process Management. In: vom Brocke J, Rosemann M (eds) Handbook on business process management, vol 1. Springer, Heidelberg, 2010.
86. Russell, S., Norvig, P., Artificial intelligence. A modern approach (3rd ed). New Jersey: Prentice Hall, 2009.
87. Ruth, P., Rhee, J., Xu, D., Kennell, R., Goasguen., S., Autonomic live adaptation of virtual computational environments in a multi-domain infrastructure. In ICAC '06: Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Autonomic Computing, Washington, DC, USA, 2006.
88. Scheer, A.-W., Klueckmann, J., BPM 3.0, BPM 2009, LNCS 5701, 15–27, 2009.
89. Schmidt, R., Nurcan, S., BPM and Social Software, Lecture Notes in Business Information Processing, 1, vol. 17, Business Process Management Workshops, part 9, pp. 649-658, 2009.
90. Schoeman, M. A., Architectural guidelines for Mobile Agent Systems. Technical Report: TR-UNISA-2003-02, School of Computing, University of South Africa, 2003.
91. Schoeman, M., Cloete, E., Architectural Components for the Efficient Design of Mobile Agent Systems, Proceedings of SAICSIT 2003, pp. 48–58, 2003.
92. Serialization. Microsoft. Pieejams: [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/7ay27kt9\(v=vs.100\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/7ay27kt9(v=vs.100).aspx) (apmeklēts: 01.08.2012).
93. Silverstein, D., DeCarlo, N., Slocum, M., INsourcing innovation. How to achieve competitive excellence using TRIZ. Auerbach Publications, New York, NY, 2005.
94. Sinur, J., A Vision of Advanced Business Process Simulation and Optimization, Gartner Research, 2010.
95. Sinur, J., Hill, J. B., Magic Quadrant for Business Process Management Suites, Gartner Research, 2010.
96. Smith, H., Fingar, P., Business Process Management The Third Wave. Meghan-Kiffer Press, ISBN: 0-929652-33-9, 2003.
97. Smith, R. F., Business process management and the balanced scorecard. Using processes as strategic drivers. Wiley, New York, NY, 2007.
98. SQL Server Compact. Microsoft. Pieejams: <http://msdn.microsoft.com/en-us/data/ff687142.aspx> (apmeklēts: 01.08.2012).
99. SQL Server Editions. Microsoft. Pieejams: <http://www.microsoft.com/sqlserver/en/us/editions.aspx> (apmeklēts: 01.08.2012).
100. Standard ECMA-376, Office Open XML File Formats, 1st edition, Part 2: Open Packaging Conventions, 2006. Pieejams: <http://www.ecmainternational.org> (apmeklēts: 01.08.2012).
101. Suh, Y.-H., Namgoong, H., Design of a Mobile Agent-Based Workflow Management System, S. Pierre and R. Gliotho (Eds.): MATA 2001, LNCS 2164, pp. 93-102, 2001.
102. Sun, W., Zhang, K., Chen, S. K., Zhang, X., Liang, H., Software as a Service: An Integration Perspective. Proceedings of the ICSOC 2007, LNCS 4749, 558–569, 2007.

103. Sundararaj, A., Dinda., P., Towards virtual networks for virtual machine grid computing. In VM'04: Proceedings of the 3rd conference on Virtual Machine Research And Technology Symposium, 2004.
104. Suri, N., Vitek, J., Mobile Agents, Computational Complexity, pp. 1880-1893, 2012.
105. System.IO.Packaging Namespace. Microsoft. Pieejams: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/system.io.packaging.aspx> (apmeklēts: 01.08.2012).
106. Tildes Jumis. Tilde. Pieejams: <http://www.tilde.lv/tildes-jumis> (apmeklēts: 01.08.2012).
107. Trammel, K., Workflow without fear. Byte, 1996.
108. van der Aalst, W., van Hee, K., Workflow management. Models, methods and systems. MIT Press, Cambridge, MA, 2004.
109. van der Aalst, W.M.P., Making Work Flow: On the Application of Petri nets to Business Process Management. In: J. Esparza and C. Lakos, editors, Application and Theory of Petri Nets 2002, vol. 2360 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 1–22. Springer-Verlag, Berlin, 2002.
110. van der Aalst, W.M.P., Process-Aware Information Systems: Lessons to Be Learned from Process Mining. In: K. Jensen and W. van der Aalst (Eds.): ToPNoC II, LNCS 5460, pp. 1–26. Springer-Verlag Berlin, 2009.
111. van der Aalst, W.M.P., ter Hofstede, A.H.M., Weske, M., Business Process Management: A Survey. In: van der Aalst, W.M.P., ter Hofstede, A.H.M., Weske, M. (eds.) BPM 2003. LNCS, vol. 2678, pp. 1–12. Springer, Heidelberg, 2003.
112. Wagner, G., Agent-oriented analysis and design of organizational information systems. Databases and information systems (J. Barzdins & A. Caplinskis, Eds.). Kluwer Academic Publishers, 111-124, 2011.
113. Weske, M., Business Process Management Concepts, Languages, Architectures. Springer Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-540-73521-2, 2007.
114. Windows Azure Service Bus. Microsoft. Pieejams: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windowsazure/ee732537> (apmeklēts: 01.08.2012).
115. Windows Communication Foundation. Microsoft. Pieejams: <http://msdn.microsoft.com/en-us/netframework/aa663324.aspx> (apmeklēts: 01.08.2012).
116. Windows Presentation Foundation. Microsoft. Pieejams: <http://windowsclient.net/wpf/default.aspx> (apmeklēts: 01.08.2012).
117. Windows Workflow Foundation. Microsoft. Pieejams: <http://msdn.microsoft.com/en-us/netframework/aa663328> (apmeklēts: 01.08.2012).
118. Wood, T., Shenoy, P., Gerber, A., Ramakrishnan, K., Merwe, J., “The case for enterprise-ready virtual private clouds”. Workshop on Hot Topics in Cloud Computing, HotCloud'09, 2009.
119. Wooldridge, M., An introduction to multi agent systems (2nd ed). Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2009.
120. Wooldridge, M., Intelligent agents. The MIT Press, 1-51, 1999. Pieejams: <http://www.csc.liv.ac.uk/~mjw/pubs/mas99.pdf> (apmeklēts: 01.08.2012).
121. XAML Syntax In Detail. Microsoft. Pieejams: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms788723.aspx> (apmeklēts: 01.08.2012).
122. XML Encryption Syntax and Processing. W3C. Pieejams: <http://www.w3.org/TR/xmlenc-core/> (apmeklēts: 01.08.2012).
123. Yuhong, Y., Zakaria, M., Weiming, S. Integration of Workflow and Agent Technology for Business Process Management. Proceedings of The Sixth International Conference on CSCW in Design, 2001.
124. Zachman, J. A., A framework for information systems architecture. IBM System Journal 26(3):276–292, 1987.
125. zur Muehlen, M.: Workflow-based Process Controlling: Foundation, Design and Application of workflow-driven Process Information Systems, Logos, Berlin, 2004.