

## VARIETY OF DEFINITIONS AND CLASSIFICATIONS OF ONTOLOGIES

### DAŽĀDĪBA ONTOLOĢIJU DEFINĪCIJĀS UN ONTOLOĢIJU KLASIFIKĀCIJAS SHĒMĀS

V. Graudiņa

#### *Ontoloģijas, ontoloģiju klasifikācija*

##### 1. Ievads

Pēdējos 15 gados informācijas tehnoloģijas nozarē sevi strauji ir pieteicis kādreizējais filosofijas jēdziens – ontoloģija. Dažādi autori sniedz dažādas IT nozarē lietoto ontoloģiju definīcijas. Šī raksta autore ir apkopojusi biežāk citētās un savstarpēji atšķirīgās IT ontoloģiju definīcijas. Šis raksts ir ontoloģiju definīciju vēsturisks pārskats, kas ļauj izsekot ontoloģiju definīciju attīstībai un izmaiņām tajās. Dažādība valda ne tikai ontoloģiju definīcijās, bet arī ontoloģiju klasifikācijā. Raksts ietver mēģinājumu sagrupēt analizētās ontoloģiju klasifikācijas shēmas pēc tās vienojošām pazīmēm, kā arī izvirza iespējas ontoloģiju klasifikācijas shēmu apvienošanai, lai labāk raksturotu kādā lietojumā izmantotās ontoloģijas.

##### 2. Dažādība ontoloģiju definīcijās

Ontoloģiju definīciju analīzei par pamatu ir izmantots Korčo ar kolēģiem [1] pētījums par ontoloģiju definīcijām (par to izmaiņām un attīstību laika gaitā), ontoloģiju veidošanas metodoloģijām, rīkiem un valodām, kas papildināts ar vēl citām definīcijām, kuras [1] rakstā nav atainotas, bet uzskatāmas par pieminēšanas cienīgām.

Jēdziens “ontoloģija” ir pārņemts no filosofijas, kur tā nozīme ir esamības sistemātisks izskaidrojums [2]:

*“Ontoloģija [grieķu on (ontos) esošais + logos jēdziens, mācība] – 1. filoz. mācība par esamību, kurā skaidroti esamības vispārīgie pamati, principi, struktūra un likumsakarības; 2. pieņēmumi par to, kādas lietas eksistē vai arī var eksistēt attiecīgajā realitātes jomā, kādi varētu būt to eksistences apstākļi, no kā un kādā veidā tās varētu būt atkarīgas utt., katrai zinātnes nozarei un katrai teorijai ir sava ontoloģija.”*

Sākotnēji termins ontoloģija datorzinātnē tika ieviests dažās mākslīgā intelekta izpētes jomās – zināšanu inženierija, dabīgās valodas apstrāde un zināšanu atspoguļošana. 1990-to gadu beigās termins ontoloģija kļuva plaši izplatīts arī citās jomās – intelektuāla informācijas integrācija, informācijas izgūšana no Interneta, zināšanu pārvaldība, vēlāk arī e-komercija, semantiskais tīmeklis. Pēdējos 10 gados jēdziens ontoloģija ir kļuvis pilnībā attiecināms uz informācijas tehnoloģiju.

Vienu no pirmajām definīcijām par IT lietotajām ontoloģijām ir devis Neče ar kolēģiem [3], kuri ontoloģiju definē šādi:

*“Ontoloģija definē pamatterminus un attieksmes, veidojot aplūkojamās sfēras vārdnīcu, kā*

arī jēdzienu un attieksmju kombinēšanas likumus, lai definētu vārdu vārdu paplašinājumus”.

Šī aprakstošā definīcija norāda, no kā sastāv ontoloģijas, un dod dažas nelielas vadlīnijas tās izveidei: identificēt pamatterminus un attieksmes starp tiem, identificēt likumus kā terminus var kombinēt, nodrošināt terminu un attieksmju definīcijas. Jāatzīmē, ka vadoties pēc Nečes definīcijas, ontoloģija ne tikai satur terminus, kas tajā ir precīzi definēti, bet arī zināšanas, ko var izvest no tiem. Dažus gadus vēlāk Grūbers [4] definēja ontoloģiju kā

*“precīzi formulētu konceptualizācijas specifiskāciju”.*

Šī definīcija ir kļuvusi par visbiežāk citēto ontoloģiju definīciju. Balstoties uz Grūbera definīciju ir piedāvātas vēl daudzas citas definīcijas. Piem., Borsts savā promocijas darbā [5] nedaudz modificē Grūbera definīciju:

*“Ontoloģija ir definēta kā formāla koplietojamas konceptualizācijas specifiskācija”.*

Apvienojot Grūbera un Borsta definīcijas, Študers ar kolēģiem [6] tās skaidro šādi:

- ◆ **“Konceptualizācija** attiecas uz kādas pasaules parādības abstraktu modeli, kurā ir identificēti būtiskie šīs parādības koncepti.
- ◆ **Precīzi formulēts** nozīmē, ka lieto konceptu tipus un ir precīzi definēti ierobežojumi konceptu lietojumam.
- ◆ **Formāls** attiecas uz faktu, ka ontoloģijai jābūt mašīnlasāmai.
- ◆ **Koplietojams** attiecas uz uzskatu, ka ontoloģija satur vienprātīgi akceptētas zināšanas, kuras nav indivīda privātas, bet gan zināšanas, ko ir pieņēmusi grupa.”

1995. gadā Guarīno ar kolēģiem [7] analizēja septiņas ontoloģiju definīcijas un piedāvāja to sintaktiskās un semantiskās interpretācijas. Raksta autori iesaka ontoloģiju uztvert kā

*“loģisku teoriju, kura dod konceptualizācijas precīzi formulētu daļēju ziņojumu.”*

Vēl Guarīno ar kolēģiem atzīmē to, ka ontoloģijai jābūt *“cilvēkam saprotamai un mašīnlasāmai”*, kā arī tai jābūt *“koplietojamai vienošanās par problēmsfēras iedomāto konceptualizāciju”*.

Kaut arī diezgan līdzīgs ir arī Študera ar kolēģiem [6] uzskats par konceptualizāciju, tomēr Guarīno ar kolēģiem ieteica ontoloģiju veidot par loģisku teoriju. Tādejādi definīcija ir attiecināma tikai uz ontoloģijām, kas ir aprakstītas kādā loģikā.

Vēl vienu Grūbera definīcijas modifikāciju piedāvā Holseple un Hoši [8], kas salīdzinoši vienkāršā veidā izsaka ontoloģijas būtību:

*“Ontoloģija ir precīzi formulēta specifiskācija abstraktam, vienkāršotam skatam uz pasauli, ko vēlas atspoguļot. Tā specifificē gan konceptus, kas raksturīgi pasaulei, gan to savstarpējās attiecības.”*

Atšķirīgas ir ontoloģiju definīcijas, kuru rašanos ir ietekmējis ontoloģiju izstrādes process. Šīs definīcijas iekļauj dažus aspektus par ontoloģiju un zināšanu bāzu saistībām. Piem., Bernaras ar kolēģiem [9] KACTUS projekta ietvaros:

*“Ontoloģija nodrošina nozīmes, lai precīzi aprakstītu konceptualizāciju, kas ir pamatā zināšanu bāzē atspoguļotajām zināšanām.”*

Šīs definīcijas autori iesaka izgūt ontoloģiju no zināšanu bāzes, kas sasaucas uz pieeju, ko autori lieto KACTUS projektā, lai veidotu ontoloģijas. Šajā pieejā lieto “no apakšas uz augšu” stratēģiju, par pamatu izmantojot zināšanu bāzes lietojumu, kur ontoloģijas tiek radītas abstrakcijas procesā.

Cita ontoloģiju veidošanas stratēģija ir atkārtoti izmantot lielās ontoloģijas, piem., SENSUS [10] (ar vairāk nekā 70 000 konceptiem), lai veidotu problēmsfēras specifiskas ontoloģijas un zināšanu bāzes:

*“Ontoloģija ir hierarhiski strukturēta terminu kopa, lai aprakstītu problēmsfēru, kā arī tiktu lietota par pamatu zināšanu bāzei.”*

Atsaucoties uz šo definīciju, viena un tā pati ontoloģija var tikt lietota, lai veidotu dažādas zināšanu bāzes, kas koplieto vienu un to pašu pamatu. Pamata paplašinājumiem jābūt pēc iespējas zemākā līmenī, pievienojot problēmsfērai specifiskus apakškonceptus, vai augstākajā līmenī, pievienojot vidējā vai augšējā līmeņa konceptus, kas pārklāj jaunās sfēras. Ja sistēmas tiek veidotas ar vienu un to pašu ontoloģiju, tās koplieto vispārēju pamatstruktūru, kas vienkāršāko zināšanu bāzu apvienošanu un koplietošanu, kā arī izveduma mehānismus.

Vēl viena ontoloģiju definīcija, kur ontoloģijas veidošana ir saistīta ar zināšanu bāzi [11]:

*“Ontoloģija ir precīzi formulēts problēmsfēras konceptu atspoguļojums, kas nodrošina pamatstruktūru, uz kuras var tik veidotas zināšanu bāzes. Katra ontoloģija ir konceptu un attieksmju starp tiem sistēma, kurā visi koncepti ir definēti un interpretēti deklaratīvā veidā.”*

Līdzīga ir arī Hūna un Saina definīcija [12], kur arī uzsvērts, ka pirmkārt ontoloģija ir datorizēts modelis, kas vēlāk izmantojams zināšanu modelēšanai:

*“Ontoloģija ir kādas pasaules daļas datorizēts modelis. Formāli ontoloģija ir vienošanās par koplietojamu konceptualizāciju, kura satur pamatu problēmsfēras zināšanu modelēšanai un vienošanos par konkrētas problēmsfēras teoriju atspoguļojumu.”*

Raugoties no jau realizētas ontoloģijas viedokļa, kas ir definēta kādā no ontoloģiju definēšanas valodām, ontoloģija ir [13]:

*“izteikumu kopums vai citas semantiskas definīcijas par problēmsfēru.”*

Dažreiz viedoklis par ontoloģiju ir izplūdis tajā nozīmē, ka taksonomijas tiek uztvertas par pilnvērtīgām ontoloģijām. Piem., UNSPSC, e-cl@ss, RosettaNet, kas ir e-komercijas standarti, un Yahoo! Directory, kas ir taksonomija tīmekļa pārmeklēšanai, arī tiek sauktas par ontoloģijām [14], jo nodrošina attiecīgās problēmsfēras vienprātīgu konceptualizāciju un ir tās katalogs, kas, savukārt, nozīmē atbildību Sovas ontoloģiju definīcijai [15].

Kopš ontoloģijas tiek plaši pielietotas dažādās nozarēs (zināšanu inženierija, datubāzes, programmatūras inženierija) dažādiem mērķiem (dabīgās valodas apstrāde, zināšanu pārvaldība, e-komercija, semantiskais tīmeklis), Ušolds un Džespers [16] piedāvāja jaunu definīciju, lai popularizētu ontoloģiju citās disciplīnās. Jāatzīmē, ka gan datubāzu projektēšanā, gan objektorientētajās pieejās tiek veidoti problēmsfēras modeļi, izmantojot konceptus, attieksmes, īpašības utt., bet parasti abās minētajās jomās izmanto mazāk semantisko ierobežojumu, nekā “smagsvara” ontoloģijās (sīkāks apraksts nodaļā “Ontoloģiju klasifikācijas shēmu apraksti”). Ušolds un Džespers [16] definēja ontoloģiju šādi:

*“Ontoloģija drīkst pieņemt dažādas formas, bet tai noteikti jāiekļauj terminu vārdnīca un kāda terminu nozīmju specifikācija. Tai jāietver definīcijas un norādījumus, kā koncepti ir savstarpēji saistīti, kas kopīgi veido problēmsfēras struktūru un ierobežo iespējamo terminu interpretāciju.”*

Jaunākajā literatūrā par ontoloģijām [17] vairums autoru atsaucas uz Grūbera piedāvāto ontoloģijas definīciju, sastopamas arī nedaudzas tās modifikācijas un papildinājumi.

### 3. Ontoloģiju klasifikācijas shēmu iedalījums

Analizējot 12 dažādas ontoloģiju klasifikācijas shēmas, ir izveidota aplūkoto shēmu klasifikācija. Rezultātā tika izdalītas 4 ontoloģiju klasifikācijas shēmu grupas (skat. 1. att.):

- ontoloģiju pielietojuma atkarīgas klasifikācijas shēmas;
- ontoloģiju pielietojuma neatkarīgas klasifikācijas shēmas;
- uz ontoloģijas atspoguļojuma struktūru balstītas klasifikācijas shēmas;
- uz ontoloģijā iekļauto konceptu saturu balstītas klasifikācijas shēmas.

Pirmkārt, visas aplūkotās ontoloģiju klasifikācijas shēmas var iedalīt divās lielās pamatgrupās:

1. **ontoloģiju pielietojuma atkarīgas** klasifikācijas shēmas – shēmas, pēc kurām var klasificēt tikai kāda konkrēta pielietojuma ontoloģijas. Pie šī grupas pieder:
  - daudzāģentu sistēmās izmantojamo ontoloģiju klasifikācijas shēma [18];
  - multimēdiu ontoloģiju klasifikācijas shēma [19];
2. **ontoloģiju pielietojuma neatkarīgas** klasifikācijas shēmas – shēmas, pēc kurām var klasificēt jebkuras ontoloģijas.

Pielietojuma neatkarīgu ontoloģiju klasifikācijas shēmas var iedalīt vēl divās grupās:

3. uz ontoloģijas **atspoguļojuma struktūru** balstītas ontoloģiju klasifikācijas shēmas, kuras galvenokārt balstās uz ontoloģijās izmantotajām formalizācijām un konceptu strukturizācijas principiem; pie šīs shēmu grupas pieder:
  - ontoloģiju klasifikācija pēc izteiksmīguma [20];
  - ontoloģiju klasifikācija pēc svara [1];
  - ontoloģiju klasifikācija pēc formalizācijas pakāpes [21];
4. uz ontoloģijā iekļauto **konceptu saturu** balstītas ontoloģiju klasifikācijas shēmas, kurās par pamatu ņemts dažāds ontoloģijās atspoguļojamo konceptu vispārīgums; vairums no aplūkotajām klasifikācijas shēmām pieder šai shēmu grupai:
  - ontoloģiju klasifikācija pēc vispārīguma [22, 20];
  - ontoloģiju klasifikācija pēc atspoguļojamās problēmas vispārīguma [23];
  - kastaņveida ontoloģiju klasifikācija [24];
  - ontoloģiju klasifikācija pēc sastādīšanas procesa [25];
  - ontoloģiju klasifikācija pēc atspoguļotajiem pasaules aspektiem [26];
  - ontoloģiju klasifikācija pēc Čendresekarana [27].



1. att. Ontoloģiju klasifikācijas shēmu iedalījums

Uz ontoloģijā iekļauto konceptu saturu balstītās ontoloģiju klasifikācijās ontoloģijas parasti klasificē kā vispārīgas un specifiskas, tomēr šī robeža nav skaidri nosakāma, jo bieži specifiskās ontoloģijas iedalās vēl sīkāk.

#### 4. Ontoloģiju klasifikācijas shēmu apraksti

Šajā nodaļā ir aprakstītas visas iepriekš minētās klasifikāciju shēmas. Katrai shēmai ir aprakstīts, kādas pazīmes ir ontoloģijai, kas pieder kādai no klasifikācijas shēmu klasēm. Viena un tā pati ontoloģija vienlaicīgi var tikt klasificēta pēc vairākām klasifikācijas shēmām. Viena un tā pati ontoloģija dažādos tās izmantošanas gadījumos var piederēt vairākām vienas klasifikācijas shēmas klasēm.

**Aģentu ontoloģiju klasifikācija.** Aģentu tehnoloģijās pielietoto ontoloģiju klasifikācija ir specifiska ontoloģiju klasifikācijas shēma, ko nav iespējams pielietot citu ontoloģiju klasifikācijai. Aģentu ontoloģiju gadījumā ontoloģijas tiek klasificētas pēc to pieejamības citiem daudzāģentu sistēmā iekļautajiem aģentiem [18]:

- **Privātās ontoloģijas** ļauj organizēt aģenta problēmu risināšanu un spriešanu. Tās atspoguļo aģenta individuālās darbības un plānus problēmsfērā, kurā aģents darbojas.

- **Publiskās ontoloģijas** koplieto daudzāģentu sistēmu veidojošie aģenti. Šīs ontoloģijas ir neatkarīgas no specifiskas problēmsfēras un specifiskiem problēmas risināšanas mehānismiem. Publiskās ontoloģijas atbalsta aģentu mijiedarbību – komunikāciju un informācijas apmaiņu.

**Multimēdiu ontoloģiju klasifikācija.** Multimēdiu ontoloģijas var būt divu veidu, atkarībā no tā, ko tās apraksta [19]:

- **Mēdiu nosakošas ontoloģijas** ir dažādu mēdiu tipu taksonomijas un tās apraksta dažādus mēdijus. Piem., tās apraksta video klipa garumu, kadru maiņas, kodēšanas tipus utt.

- **Saturu nosakošas ontoloģijas** apraksta mēdija atspoguļoto problēmu, dalībniekus, notikumus. Tā kā šīs ontoloģijas nav mēdiu nosakošas, tās var tikt atkārtoti lietotas gadījumos, kas saistīti ar aprakstīto problēmu.

**Ontoloģiju klasifikācija pēc izteiksmīguma.** Balstoties uz [14] ieteikto ontoloģiju definīciju spektru, de Bruijn [20] piedāvā ontoloģijas klasificēt pēc to izteiksmīguma (skat. 2. att.):

- **Pārvaldāma vārdnīca** ir galīgs terminu saraksts, piem., katalogs vai skaidrojošā vārdnīca, kas ir terminu un to nozīmju saraksts, kur nozīmes ir specificētas dabīgajā valodā. Piemērs: Dublin Core [28], kas specificē dokumentu metadatus.

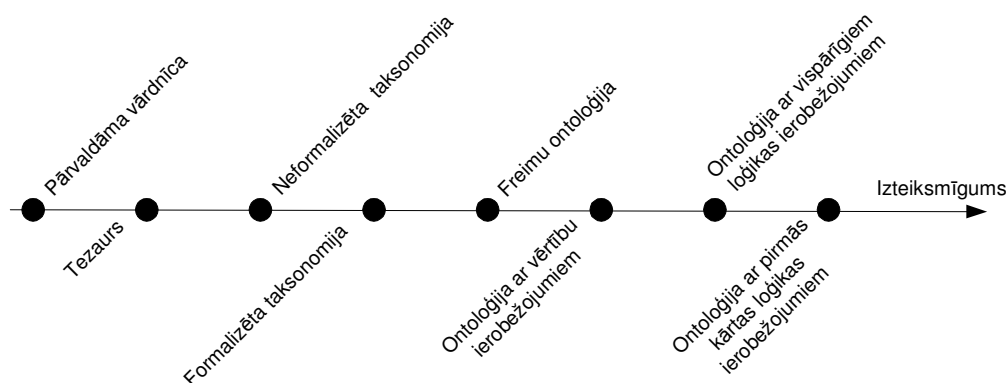
- **Tezauris** nodrošina papildus semantiku ar attieksmēm starp terminiem (piem., sinonīmi). Parasti tezauri nenodrošina precīzu hierarhiju. Piemērs: WordNet– angļu valodas tezauris [29, 30].

- **Neformalizēta taksonomija** ir skaidri izteikta hierarhija (nodrošinot vispārināšanu un specificēšanu), bet bez striktas apakšklašu mantošanas – apakšklases eksemplārs var nebūt virsklases eksemplārs. Piemērs: Yahoo! katalogs.

- **Formalizēta taksonomija** ir hierarhija ar striktu apakšklašu hierarhiju – ja klase A ir klases B superklase, tad klases B eksemplārs noteikti ir klases A eksemplārs. Striktās hierarhijas nodrošina pareizu mantošanu.

- **Freimu ontoloģija** – ir ontoloģija, kurā konceptu atspoguļošanā izmanto freimus (klases), kas satur arī informāciju par konceptu īpašībām un kuru manto apakšfreimi un eksemplāri.

- **Ontoloģija ar vērtību ierobežojumiem** – ontoloģija, kuras konceptu īpašību vērtības tiek ierobežotas (piem., ar datu tipiem, vērtību diapazonu, pieļaujamo vērtību sarakstu).
- **Ontoloģija ar vispārīgiem loģikas ierobežojumiem** – ontoloģija, kuras konceptu īpašības var ierobežot loģikas vai matemātiskas formulas, kas lieto citu īpašību vērtības. Piemērs: OWL valodā [31] pierakstītas ontoloģijas.
- **Ontoloģija ar pirmās kārtas loģikas ierobežojumiem** – ontoloģijas, kas pierakstītas kādā izteiksmīgā ontoloģiju valodā (piem., Ontolingua [32] vai CycL [33]), ar ierobežojumiem starp terminiem un daudz detalizētākām attieksmēm, piem., inversās attieksmes, nesaistītas klases. Piemērs: CYC [34] – ontoloģija, kas izstrādāta, lietojot KIF [35].



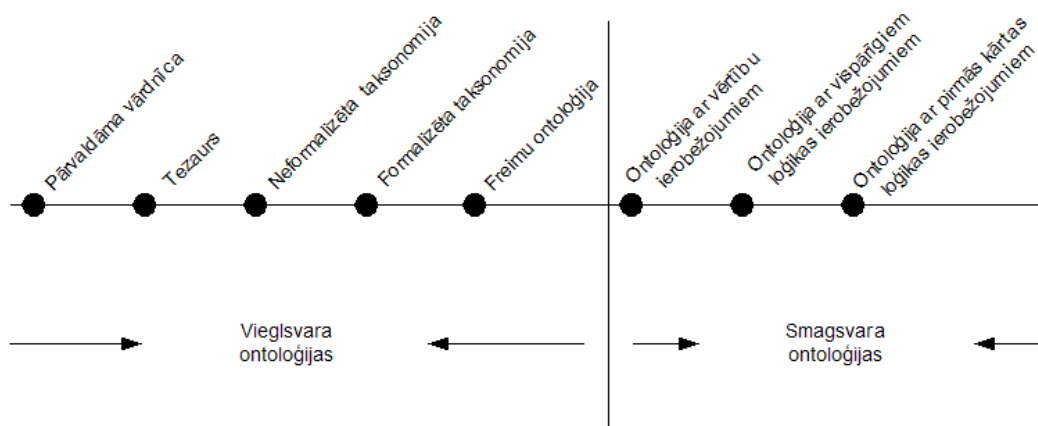
2. att. Ontoloģiju klasifikācija pēc to izteiksmīguma [20]

**Ontoloģiju klasifikācija pēc svara.** Korčo un viņa kolēģi [1] iesaka nodalīt ontoloģijas, kas ir tikai taksonomijas no ontoloģijām, kas modelē problēmsfēru daudz plašākā un dziļākā pakāpē un atspoguļo ierobežojumus par problēmsfēras semantiku. Atkarībā no ontoloģijās izmantotā atspoguļojuma, tās tiek sauktas par vieglsvara vai smagsvara ontoloģijām:

♦ **Vieglsvara ontoloģijas** ietver konceptus, konceptu taksonomijas, attieksmes starp konceptiem (maz loģisko attieksmju starp klasēm [36]) un īpašības, kas apraksta konceptus.

♦ **Smagsvara ontoloģijas** ir vieglsvara ontoloģijas, kas papildinātas ar aksiomām un ierobežojumiem.

Atšķirību starp vieglsvara un smagsvara ontoloģijām visvieglāk atklāt izmantojot iepriekš aprakstīto ontoloģiju klasifikāciju pēc to izteiksmīguma (skat. 2. att.). Ontoloģijas, kurās tiek izmantoti vērtību ierobežojumi ir smagsvara ontoloģijas (skat. 3. att.).

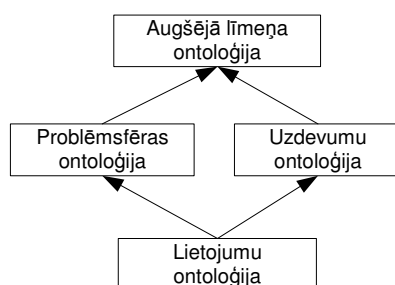


3. att. Ontoloģiju klasifikācija pēc svara [20]

**Ontoloģiju klasifikācija pēc formalizācijas pakāpes.** Ontoloģijām var būt dažādas formas, tomēr tām jāietver terminu vārdnīca un terminu nozīmju specifika. Atkarībā no ontoloģijas formalitātes pakāpes ir iespējams izdalīt 4 ontoloģiju klases [21]:

- **Pilnīgi neformalizētas ontoloģijas** apraksta brīvā dabīgā valodā.
- **Daļēji neformalizētas ontoloģijas** apraksta vārdnīcu ierobežotā un strukturētā dabīgās valodas formā, tādā veidā palielinot skaidrību un samazinot nenoteiktību un neviennozīmību (piem., dažādu ontoloģiju teksta versijas).
- **Daļēji formalizētas ontoloģijas** apraksta vārdnīcas kādā formālā valodā.
- **Strikti formalizētas ontoloģijas** precīzi definē terminus ar formālu semantiku, ir teorēmas un pierādījumi īpašību drošumam un pilnīgumam.

**Ontoloģiju klasifikācija pēc vispārīguma.** Guarīno [22] piedāvātā ontoloģiju klasifikācijas shēma balstās uz pieņēmumu, ka zināšanas var tikt sadalītas 3 slāņos: 1) valodas zināšanas, 2) problēmsfēras zināšanas, 3) lietojuma zināšanas. Atsaucoties uz zināšanu slāņiem ir izdalītās ontoloģiju vispārīguma pakāpes (skat. 4. att.).



4. att. Ontoloģiju klasifikācijas shēma pēc to vispārīguma pakāpes [22]

1. **Augšējā līmeņa ontoloģijas** apraksta ļoti vispārīgus jēdzienus (piem., laiks, telpa, viela, objekts, notikums, darbība utt.), kuri ir neatkarīgi no konkrētās ontoloģijas pielietojuma sfēras vai problēmas. Tāpēc tiek uzskatīts, ka vismaz teorētiski būtu iespējama vienotas augšējā līmeņa ontoloģiju izstrāde, kuras varētu pielietot lielas lietotāju grupas [22].

2. **Problēmsfēras ontoloģijas** un **uzdevumu ontoloģijas** apraksta vārdnīcu, kas ir saistīta ar vispārīgu problēmsfēru (piem., medicīna, izglītība) vai vispārīgu uzdevumu vai darbību (piem., diagnostika vai apmācība), specificējot augšējā līmeņa ontoloģijā ieviestos terminus.

3. **Lietošanas ontoloģijas** apraksta konceptus (atkarīgus no konkrētās problēmsfēras un uzdevuma), kuri bieži ir abu saistīto ontoloģiju specializēšana. Šie koncepti parasti atbilst lomai, ko spēlē problēmsfēras realitātes, kamēr izpilda noteiktas darbības (piem., asinsaina, lekciju kurss).

Līdzīgu, uz iepriekš aprakstītās klasifikācijas shēmas veidotu, klasifikāciju piedāvā de Bruijn [20]. Šī shēma ļauj izdalīt 3 ontoloģiju klases:

- ♦ **vispārīgas ontoloģijas** – satur no problēmsfēras neatkarīgas zināšanas (piem., telpa);
- ♦ **problēmsfēras ontoloģijas** – satur zināšanas par specifisku problēmsfēru (piem., autobūve, informācijas sistēmas);
- ♦ **lietojumu ontoloģijas** – satur zināšanas, kas nepieciešamas konkrētiem lietojumiem (piem., interneta lapu ontoloģija satur virsrakstu, teksta paragrāfu, attēlu, saišu konceptus).

**Ontoloģiju klasifikācija pēc atspoguļojamās problēmas vispārīguma.** Martins [23] klasificē ontoloģijas pēc to aprakstītās problēmas vispārīguma:

- **Teorijas** ir nelielas ontoloģijas, piem., par matemātiskām realitātēm (kopām, attieksmēm, funkcijām, skaitļiem, virknēm), vai no/uz attieksmēm fiziskās dimensijās (laiks, telpa, viela) vai par specifisku problēmsfēru (piem., lifti vai ķīmiskie elementi). Šīs teorijas var iekļaut, vispārināt, specificēt vai papildināt citas teorijas.

- **Leksiskās ontoloģijas** klasificē visus dabīgās valodas vai specifiskas problēmsfēras konceptus, saistot tos ar saitēm “apakštīps no”, “eksemplārs no” un “daļa no”, piem., šāda ontoloģija ir WordNet [29, 30].

- **Augšējā līmeņa ontoloģijas** klasificē attieksmju tipus (piem., telpiskas / temporālas / tematiskas attieksmes) un/vai vispārīgus konceptu tipus (piem., situācija, stāvoklis, process, telpiska realitāte, temporāla realitāte), parasti izmantojot “apakštīps no” saites.

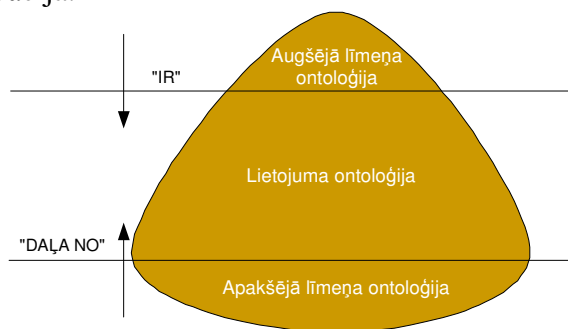
Augšējā līmeņa ontoloģijas var tikt lietotas, lai konstruētu leksisko ontoloģiju augšējos līmeņus. Savukārt leksisko ontoloģiju kategorijas var tikt lietotas kā daudz precīzāk definēto kategoriju vispārinājumi.

**Kastanveida ontoloģiju klasifikācija.** Misikovs un Taglono [24] iesaka ontoloģijas attēlot kastaņa formā (skat. 5. att.), iedalot tās 3 klasēs:

- **Augšējā līmeņa problēmsfēras ontoloģija** satur vispārīgus konceptus, piem., process, aktieri, notikumi, mērķi.

- **Apakšējā līmeņa problēmsfēras ontoloģija** satur vienkāršus, nedalāmus konceptus, piem., ekonomikas sfērā tie būtu cena, izmaksas.

- **Lietojuma ontoloģija** ir ļoti atkarīga no konkrētā lietojuma, izvirzītajiem mērķiem un uzdevumiem, kā arī metodēm to risināšanai. Tipiskie koncepti viesnīcu sfērā ir rēķins, klients, atlaide, apstiprināta rezervācija.



5. att. Ontoloģiju "kastanis" [24]

Vidējā līmeņa (lietojuma ontoloģijas) koncepti parasti tiek konstruēti no konceptiem, kas definēti apakšējā līmenī, ar “DAĻA NO” attieksmi. Lietojumam specifiskie koncepti tiek klasificēti (parasti ar attieksmi “IR”), vadoties pēc daudz vispārīgākiem konceptiem, kas atrodas augšējā līmeņa ontoloģijā.

**Ontoloģiju klasifikācija pēc to sastādīšanas procesa.** Pārsprīžot Grūbera [4] un Guarīno [22] ontoloģiju definīcijas, Cūniga [25] izdala divas ontoloģiju klases:

- **Formāla ontoloģija** tiek sastādīta no pasaules objektu īpašību aprakstiem un starp dažādu veidu objektiem eksistējošām attieksmēm, kas iegūtas vispārīgā pētījumā.

- **Materiāla ontoloģija** tiek veidota tikai no konkrētas problēmsfēras objektiem, un tā sastāv no problēmsfēras struktūras apraksta un objektu attieksmēm tajā.

**Ontoloģiju klasifikācija pēc atspoguļotajiem pasaules aspektiem.** Jurisks ar kolēģiem [26] iesaka ontoloģijas iedalīt četrās klasēs, lai aprakstītu visus pasaules aspektus:

- ◆ **Statiskā ontoloģija** apraksta pasaules statiskos aspektus – kādas lietas eksistē, to atribūtus un attieksmes.

- ◆ **Dinamiskā ontoloģija** apraksta pasaules mainīgos aspektus, piem., stāvoklis, stāvokļa maiņa, process, arī dažādas temporālas parādības, pasaules dinamikas atspoguļošanai.

- ◆ **Sociālā ontoloģija** attēlo sociālo vidi, aktierus, amatus, lomas, autoritāti, organizācijas struktūras, līdzatkarību un apvienību tīklus.

♦ **Nodomu ontoloģija** ietver lietas, kurām aģents (gan programmatūra, gan personas) tic, kuras vēlas, pierāda, apstrīd un argumentē. Nodomu ontoloģija apraksta motivāciju, nodomus, pārliecību, alternatīvas un iespējas.

**Ontoloģiju klasifikācija pēc Čendresekarana.** Čendresekarana un viņa kolēģu [27] piedāvātā ontoloģiju klasifikācija daļa tās divās grupās – ontoloģijas kā atspoguļojuma vārdnīcas un ontoloģijas kā satura teorijas.

- Ontoloģija ir **atspoguļojuma vārdnīca**, kas specializēta kādai problēmai vai tematam. Precīzāk, tā ir nevis vārdnīca, bet gan konceptualizācija, kuras termini ir iekļauti vārdnīcā. Tulkojot ontoloģijas terminus no vienas valodas uz citu, tas konceptuāli nemaina ontoloģiju. Atspoguļojumu vārdnīca nodrošina terminu kopu, ar kuriem apraksta kādas problēmas faktus.

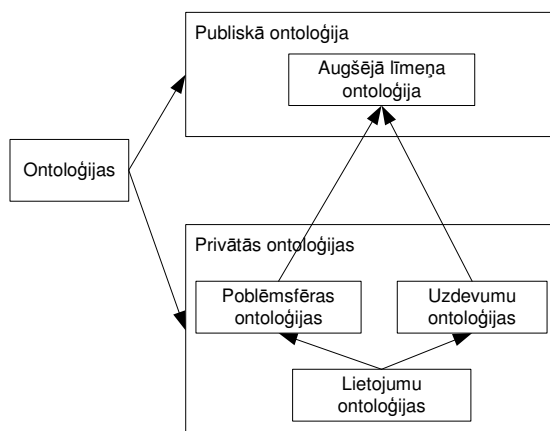
- Ontoloģijas ir **satura teorijas**, tāpēc, ka to galvenais ieguldījums ir identificēt specifiskas objektu klases un attiecsmes, kuras eksistē kādā problēmsfērā. Satura teorijām nepieciešama atspoguļošanas valoda, piem., predikātu rēķini, kas paplašināti ar hierarhiskām attiecsmēm, ko lieto, lai atspoguļotu klašu hierarhiju.

## 5. Ontoloģiju klasifikācijas shēmu apvienošanas iespējas

Līdz šim minētās ontoloģiju shēmas ir iespējams arī apvienot, lai labāk atklātu kādā konkrētā lietojumā izmantojamo ontoloģiju dažādību un to savstarpējo saistību. Daudzaģentu sistēmās lietotās ontoloģijas ir iespējams klasificēt, apvienojot divas klasifikācijas shēmas:

1. ontoloģiju klasifikāciju pēc to pieejamības [18];
2. ontoloģiju klasifikāciju pēc to vispārīguma pakāpes [21].

Šis apvienotais ontoloģiju klasifikācijas variants ļauj labāk attēlot daudzģentu sistēmās pielietojamās ontoloģijas un to īpatnības. Publiskā ontoloģija nodrošina aģentu komunikāciju, aprakstot to sadarbības protokolus, savukārt augšējā līmeņa ontoloģija apraksta vispārīgāko līmeni problēmai, kura ir aģentiem jārisina. Tāpēc ir ieteicams, ka augšējā līmeņa ontoloģija (var būt arī vairākas) ir publiska un koplietojama visiem sistēmā iesaistītajiem aģentiem. Savukārt, pārējās ontoloģijas (problēmsfēras, uzdevumu un lietojuma ontoloģijas) ir atkarīgas no konkrētā aģenta individuālā mērķa vai uzdevuma. Minētā ontoloģiju klasifikācija attēlo daudzģentu sistēmā izmantojamu ontoloģiju hierarhiju (skat. 6. att.), kas detalizētāk aprakstīta [37].



6. att. Apvienotā ontoloģiju klasificēšanas shēma [37]

## 6. Secinājumi

Spriežot pēc viena no jaunākajiem literatūras avotiem par ontoloģijām [17], jāsecina, ka laika gaitā ir notikusi vienošanās par vispārpieņemtu ontoloģiju definīciju, tā ir vai nu Grūbera piedāvātā [4] vai arī kāda tās modifikācija. Vēl nesenā pagātnē daži autori piedāvāja definīcijas, kas ir neatkarīgas no ontoloģiju veidošanas procesa un no to izmantošanas lietojumos, citas definīcijas ir ietekmējis ontoloģiju izstrādes process. Kopumā var teikt, ka ontoloģiju mērķis ir uzkrāt zināšanas vispārīgā un formālā veidā. Ontoloģijas var tikt atkārtoti izmantotas un koplietas programmatūras un cilvēku grupas vajadzībām, proti, ontoloģijai jābūt mašīnlasāmai un cilvēkam saprotamai. Iepriekš nevienprātība valdīja arī ontoloģiju definīcijās pielietotajos terminos, proti, elementus, no kā sastāv ontoloģijas, dēvē gan par konceptiem [6, 8, 11], gan terminiem [3, 10, 15], gan faktiem [38], gan arī kategorijām [23]. Tomēr šobrīd parasti izmantotais termins ir koncepts.

Rakstā ir piedāvāts ontoloģiju klasifikācijas shēmas iedalīt 4 grupās, apvienojot shēmas pēc to īpašībām un veida kā ontoloģijas tiek klasificētas. Autores izvirzītā ontoloģiju klasifikāciju shēmu grupēšana balstās uz 12 shēmu analīzi, kas ļāva izdalīt dažādas ontoloģiju klasifikācijas shēmu grupas. Rakstā ir sniegts ieskats par ontoloģiju klasifikācijas shēmu apvienošanas iespējām, lai iegūtu specifisku shēmu, kas nepieciešama kādā konkrētā lietojumā izmantoto ontoloģiju labākai un uzskatāmākai klasifikācijai.

## 7. Literatūra

1. Corcho O., Fernandez–Lopez M., Gomez–Perez A. Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point? // In: *Data & Knowledge Engineering* 46, 2003 - p. 41-64.
2. Ilustrētā svešvārdu vārdnīca. Rīga, Avots, 2005.
3. Neches R., Fikes R.E., Finin T., Gruber T.R., Senator T., Swartout W.R. Enabling technology for knowledge sharing // In: *AI Magazine* 12 (3), 1991 - p. 36–56.
4. Gruber T.R. A translation approach to portable ontology specification // In: *Knowledge Acquisition* 5 (1993) - p. 199–220.
5. Borst W.N. Construction of Engineering Ontologies. PhD Thesis, University of Twente, Enschede, NL–Centre for Telematica and Information Technology, 1997.
6. Studer R., Benjamins V.R., Fensel D. Knowledge engineering: principles and methods // In: *Data and Knowledge Engineering*, 25, 1998 - p. 161–197.
7. Guarino N., Carrara M., Giaretta P. Ontologies and knowledge bases: towards a terminological clarification // In: N. Mars (Ed.), *Towards Very Large Knowledge Bases, Knowledge Building and Knowledge Sharing*, IOS Press, Amsterdam, 1995 - p. 25–32.
8. Holsapple C.W., Joshi K.D. A Collaborative Approach to Ontology Design // In: *Communications of ACM*, vol. 45, no. 2, 2002 - p. 42-47.
9. Bernaras A., Laresgoiti I., Corera J. Building and reusing ontologies for electrical network applications // In: *Proc. European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'96)*, Budapest, Hungary, 1996 - p. 298–302.
10. Swartout B., Ramesh P., Knight K., Russ T. Toward Distributed Use of Large-Scale Ontologies // In: *AAAI Symposium on Ontological Engineering*, Stanford, 1997.
11. Devedzic V. Understanding Ontological Engineering // In: *Communications of ACM*, vol.45, no.4, 2002 - p.136-144.
12. Huhns M. N., Singh M. P. Ontologies for Agents // In *IEEE Internet Computing*, nov/dec 1997 – p. 81-83.
13. Geroimenko V. *Dictionary of XML Technologies and the Semantic Web*. Springer-Verlag. 2004.

14. Lassila O., McGuinness D. The Role of Frame-Based Representation on the Semantic Web // In: Electronic Transactions on Artificial Intelligence, vol. 5, 2001.
15. Sowa J.F. Conceptual Structure: information processing in mind and machine. Addison Westley, Reading Mass. 1984.
16. Uschold M., Jasper R. A Framework for Understanding and Classifying Ontology Applications // In: Proc. IJCAI99 Workshop on Ontologies and Problem-Solving Methods, Stockholm, 1999.
17. Staab S. Studer R. (Eds.). Handbook on Ontologies. Springer-Verlag. 2004.
18. Sycara K., Paolucci M. Ontologies in Agent Architectures // In [17] p. 343-363.
19. Mikhalenko P.V. The Benefits of the Web Ontology Language in Web Applications. 2003. Pieejams internetā (08.07.2004): <http://builder.com.com/5100-6387-5060266.html>
20. de Bruijn J. Using Ontologies Enabling Knowledge Sharing and Reuse on the Semantic Web. // DERI Technical Report DERI-2003-10-29, 2003.
21. Uschold M., Gruninger M. ONTOLOGIES: Principles, Methods and Applications // In: Knowledge Engineering Review 11-2, 1996 - p. 93-155.
22. Guarino N. Formal Ontologies and Information Systems // In: Guarino N. (eds.). Proceedings of FOIS'98. IOS Press, Amsterdam, 1998 - p. 3-15.
23. Martin P. Knowledge Representation, Sharing, and Retrieval on the Web // In: Zhong N., Liu J., Yao Y. (eds.). Web Intelligence. Springer - Verlag, 2003 - p. 243-275.
24. Missikoff M., Taglino F. An Ontology-Based Platform for Semantic Interoperability // In [17] p. 617-633.
25. Zuniga G.L. Ontology: Its Transformation from Philosophy to Information Systems // In: Proceedings of FOIS'01, 2001 - p. 187-197.
26. Jurisica I., Mylopoulos J., Yu E. Using Ontologies for Knowledge Management: an Information System Perspective // In: Knowledge: Creation, Organization and Use - Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the American Society for Information Science (ASIS'99), 1999 - p. 482-496.
27. Chandrasekaran B., Josephson J.R., Benjamins V.R. What Are Ontologies, and Why Do We Need Them? // In: IEEE Intelligent Systems, Janv./febr. 1999 - p. 20 - 26.
28. Burnard L., Miller E., Quin L., Sperberg-McQueen C.M. A Syntax for Dublin Core Metadata: recommendations from the Second Metadata Workshop. 1996.
29. Miller G.A. WordNet: A Lexical Database for English // In: Communications of ACM vol. 38, no.11, 1995 - p. 39-41.
30. Fellbaum C. (eds.). WordNet: An Electronic Lexical Database. MIT Press, 1998.
31. Bechhofer S., van Harmelen F., Hendler J., Horrocks I., McGuinness D.L., Patel-Schneider P.F., Stein L.A. OWL Web Ontology Language Reference. 2004.
32. Gruber T.R. ONTOLINGUA: A Mechanism to Support Portable Ontologies, technical report, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, 1992
33. Ontological Engineer's Handbook. Version 0.7. Pieejams internetā (apmeklēts 10.04.2005) <http://www.cyc.com/doc/handbook/oe/oe-handbook-toc-opencyc.html>
34. Lenat, D.B. CYC: a large-scale investment in knowledge infrastructure // In: Communications of the ACM 38 No.11, 1995 - p. 32-38.
35. Genesereth M., Fikes R. Knowledge interchange format, Technical Report Logic-92-1, Computer Science, Department, Stanford University, 1992.
36. Fluit C., Sabou M., van Harmelen F. Supporting User Tasks through Visualisation of Light-weight Ontologies // In [17] p. 415-432.
37. Graudina V., Grundspenkis J. The Role of Ontologies in Agent-Based Simulation of Intelligent Tutoring Systems, 2005 (pieņemts 19. Eiropas modelēšanas un imitācijas konferencē, 2005. g. 1.-4. jūn., Rīga).
38. Weissenberg N., Voisard A., Gartmann R. Using Ontologies in Personalized Mobile Applications // In: Proceedings of the 12th annual ACM international workshop on Geographic information systems, 2004 -p. 2-11.

### **Graudīna V. Dažādība ontoloģiju definīcijās un ontoloģiju klasifikācijas shēmās.**

*Pēdējos 10-15 gados IT jomā sevi strauji ir pieteicis kādreizējais filosofijas termins – ontoloģija. Ar tā ienākšanu IT ir saistītas daudzas diskusijas un strīdi par šī termina lietojumu, tā definīciju pareizību. Raksta nolūks ir iepazīstināt lasītāju ar termina definīciju attīstību, ļaujot izvēlēties piemērotāko un pieņemamāko ontoloģijas definīciju. Arī ontoloģiju klasifikācijās valda dažādība un gandrīz katrs autors izvirza savu ontoloģiju klasifikācijas shēmu, kas vislabāk autoraprāt atspoguļo viņa problēmsfēru un atbilst lietojumam. Rakstā ir analizētas vairāk kā 10 dažādas ontoloģiju definīcijas, rādīta to vēsturiskā attīstība un mainība, kā arī komentētas analizētās definīcijas. Ontoloģiju definīcijas ir papildinātas ar ontoloģiju klasifikācijas shēmām, kam veltītas 3.-5. nodaļas. 3. nodaļā autore piedāvā ontoloģiju klasifikācijas shēmas iedalīt 4 grupās, apvienojot shēmas pēc to īpašībām. Izvirzītā ontoloģiju klasifikāciju shēmu grupēšana balstās uz 12 shēmu analīzi, kas ļāva izdalīt 4 grupas: ontoloģiju pielietojuma atkarīgas klasifikācijas shēmas, ontoloģiju pielietojuma neatkarīgas klasifikācijas shēmas, uz ontoloģijas atspoguļojuma struktūru balstītas ontoloģiju klasifikācijas shēmas un uz ontoloģijā iekļauto konceptu saturu balstītas ontoloģiju klasifikācijas shēmas. 4. nodaļā ir aprakstītas visas analizētās shēmas. 5. nodaļā ir sniegts ieskats par ontoloģiju klasifikācijas shēmu apvienošanas iespējām, lai iegūtu specifisku shēmu, kas nepieciešama kādā konkrētā lietojumā izmantoto ontoloģiju labākai un uzskatāmākai klasifikācijai.*

### **Graudina V. Variety of Definitions and Classifications of Ontologies.**

*During last 10-15 years philosophy term ontology has rapidly come in the IT community. Its income is connected with many discussions and disputes about the usage of this term and correctness of its definition. The aim of this paper is to introduce to a reader the evolution of term's definition to make it possible to her/him to choose more suitable and acceptable definition of ontology. There is also a variety in classifications of ontologies and almost each author describes his/her own classification scheme, which by point of view of the authors represents domain better and is more suitable for application. More than 10 different ontology definitions are analyzed, a historical evolution and fluidity of them are shown, as well as related comments. Ontology definitions are complemented with ontologies classification schemes. In the section 3 the author proposes to divide ontologies classification schemes by linking schemes into 4 groups according to their properties. The grouping of ontologies classification schemes proposed is based on analysis of 12 schemes, that allowed to make division into following 4 groups: ontology applying dependent classification schemes, ontology applying independent classification schemes, ontology representation structure-based classification schemes and concepts-based classification included in ontology schemes. The section 4 describes all analyzed schemes. The section 5 describes chances of merging ontologies classification schemes to get the specific schemes, which are needed for better and more expressive ontologies classification in the particular application.*

### **Граудиня В. Многообразие в определениях и схемах классификаций онтологий.**

*За последние 10-15 лет в сфере ИТ стремительно заявил о себе бывший термин философии – онтология. С его появлением в ИТ связаны многие дискуссии и споры об использовании данного термина, о правильности его определения. Цель статьи – ознакомить читателя с развитием определения данного термина, предоставляя возможность выбора наиболее подходящего и наиболее приемлемого определения онтологий. Также в классификациях онтологий царит разнообразие и почти каждый автор выдвигает свою схему классификаций онтологий, которая, по мнению автора, наиболее ясно отображает проблемную сферу и удовлетворяет применению. В статье было проанализировано более 10 разных определений онтологий, показано их историческое развитие и изменения, а также опубликованы комментарии. Определение онтологий дополнено схемами классификаций онтологий, которым посвящены главы 3-5. В главе 3 автор предлагает разбить схемы классификаций онтологий на 4 группы, объединяя схемы по их свойствам. Выдвинутая схема группирования классификаций онтологий основывается на анализе 12 схем, который позволил выделить 4 группы схем классификаций онтологий: зависимость от применения, независимость от применения, основанные на отображении структур онтологий и основанные на анализе содержания включенных в онтологии концепций. В главе 4 описаны все схемы, подлежащие анализу. В главе 5 описан взгляд на возможность объединения схем классификаций онтологий для получения специфической схемы, необходимой для применения в определенных условиях для более лучшей и наглядной классификации.*