

Sistēmu modelēšanas un imitācijas pamati (DMI201)

Lekciju materiāls sagatavots projekta

***"RTU akadēmisko bakalauru studiju programmas
"Datorsistēmas" datorzinātnes pamatkursu
pilnveidošana" ietvaros***

Sistēmu modelēšanas un imitācijas pamati

Profesore, Dr.tech.sc., Dr.sc.ing. Gaļina Merkurjeva

Rīgas Tehniskā universitāte

Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte

Informācijas tehnoloģijas institūts

Modelēšanas un imitācijas katedra

Priekšmeta pamatdati

- Priekšmeta pieteicējs: Gaļina Merkurjeva
- Apjoms: 3 KP
- Kontroles veids: Studiju darbs, Eksāmens
- Studiju līmenis: Akadēmiskā bakalaura studiju programma
- Semestris: 3. semestris

Priekšmeta mērķi un uzdevumi

- Mērķi:
 - iepazīties ar pamatjēdzieniem, kas saistīti ar sistēmu modelēšanu, kā arī analītiskās un imitācijas modelēšanas pamatu apguve
 - iegūt iemaņas darbam ar modernu modelēšanas programmatūru
- Uzdevumi:
 - apgūt sistēmu analīzes un modelēšanas pamatjēdzienus, analītiskās un imitācijas modelēšanas metodes un programmatūru (eksāmens)
 - apgūt imitācijas modelēšanas pamatprincipus, t.s. laika skaitīšanu, gadījuma faktora modelēšanu, paralēli notikušus un savstarpēji saistītus procesu attēlošanu un modelēšanas rezultātu apstrādi ar atbilstošu uzdevumu risināšanu individuālā studiju darbā (ieskaite studiju darbam ar atzīmi)
 - iegūt iemaņas darbam ar modernu modelēšanas programmatūru un to pielietošanā praktisko uzdevumu risināšanai izstrādājot trīs darbus laboratorijā ar MATLAB un Promodel modelēšanas sistēmām (ieskaite par laboratorijas darbiem)

Pamatliteratūra

- www.vu.lv/ Sistēmu modelēšanas un imitācijas pamati.
- Michael Pidd. Computer Simulation in Management Science, Willey & Sons, 1998. (RTU abonements)
- Grundspenķis, J. Tolujevs. Sistēmu modelēšana. Lekciju konspekts. 1. daļa, Rīgas Politehniskais institūts, J. 1983. (RTU abonements)
- Grundspenķis, J. Tolujevs. Sistēmu modelēšana. Lekciju konspekts. 2. daļa, Rīgas Politehniskais institūts, J. 1984. (RTU abonements)

Papildliteratūra

- Б.Я.Советов, С.А. Яковлев. Моделирование систем. М., Высшая школа, 1985. (RTU abonements)
- J. Banks, J.S.Carson, B.L.Nelson. Discrete-event Simulation. Prentice Hall, 2006. – 549 lpp. (ITI MIK)
- L. Frolova. Matemātiskā modelēšana ekonomikā un menedāmentā. Teorija un prakse. Izglītības soļi, Rīga, 2005.
- V. Jansons, V. Jurenoks. Ekonomiskā modelēšana. RTU izdevniecība, 2005. - 219 lpp.

Atslēgas vārdi

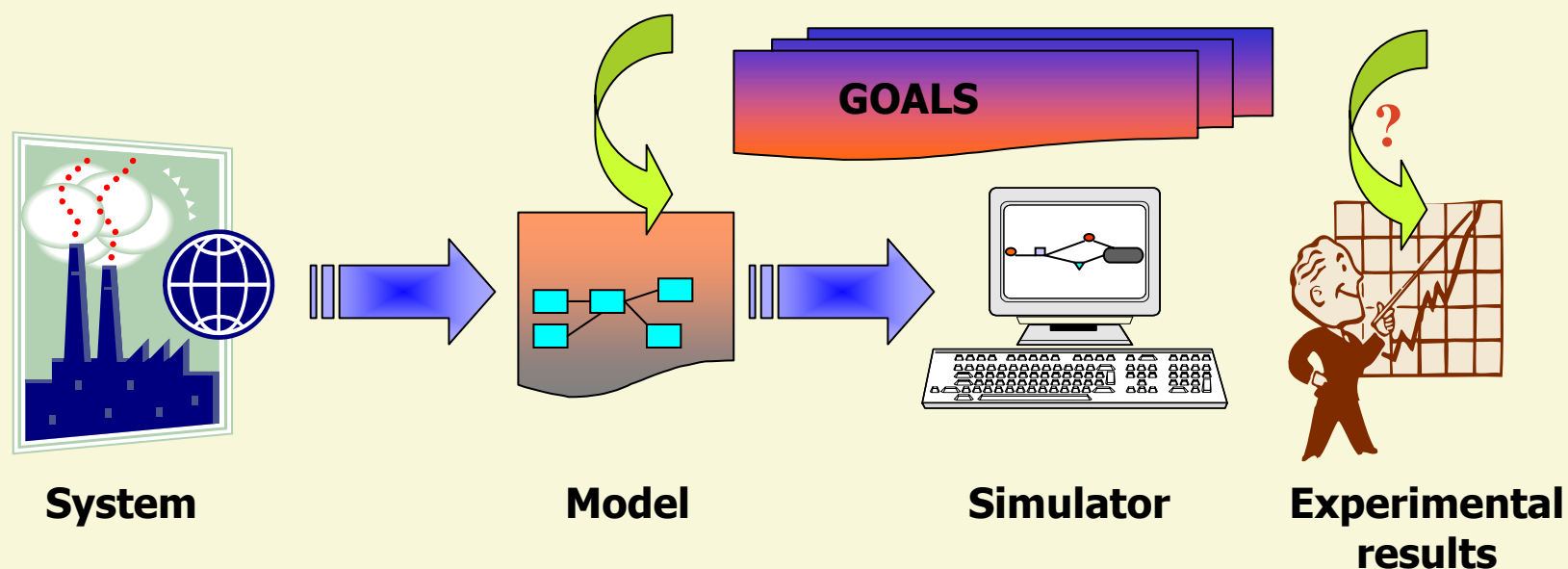
- Sistēma
- Sistēmas struktūra
- Sistēmas elementi un dinamika
- Modelis
- Modeļa adekvātums
- Datormodelēšana
- Matemātiskais modelis
- Analītiskais modelis
- Imitācijas modelis
- Laika diagrammas

Pamattēmas

- Sistēmu analīzes pamatjēdzieni
- Sistēmu modelēšanas pamatjēdzieni
- Analītiskās sistēmu modelēšanas pamati
- Statistiskās modelēšanas pamati
- Modeļa adekvātums
- Imitācijas modelēšanas tehnoloģijas
apgūšana ar ProModel palīdzību
- Modelēšanas programmatūras apskats

Kas ir modelēšana?

- Modelēšana ir reāla objekta pētīšana ar modeļu palīdzību



Virtuāla universitāte Blackboard

www.vu.lv

The screenshot displays the Blackboard virtual university interface. At the top, there is a navigation bar with links for Home, Help, and Logout. Below this, the main content area is divided into three sections: Course Search, Course List, and Course Catalog.

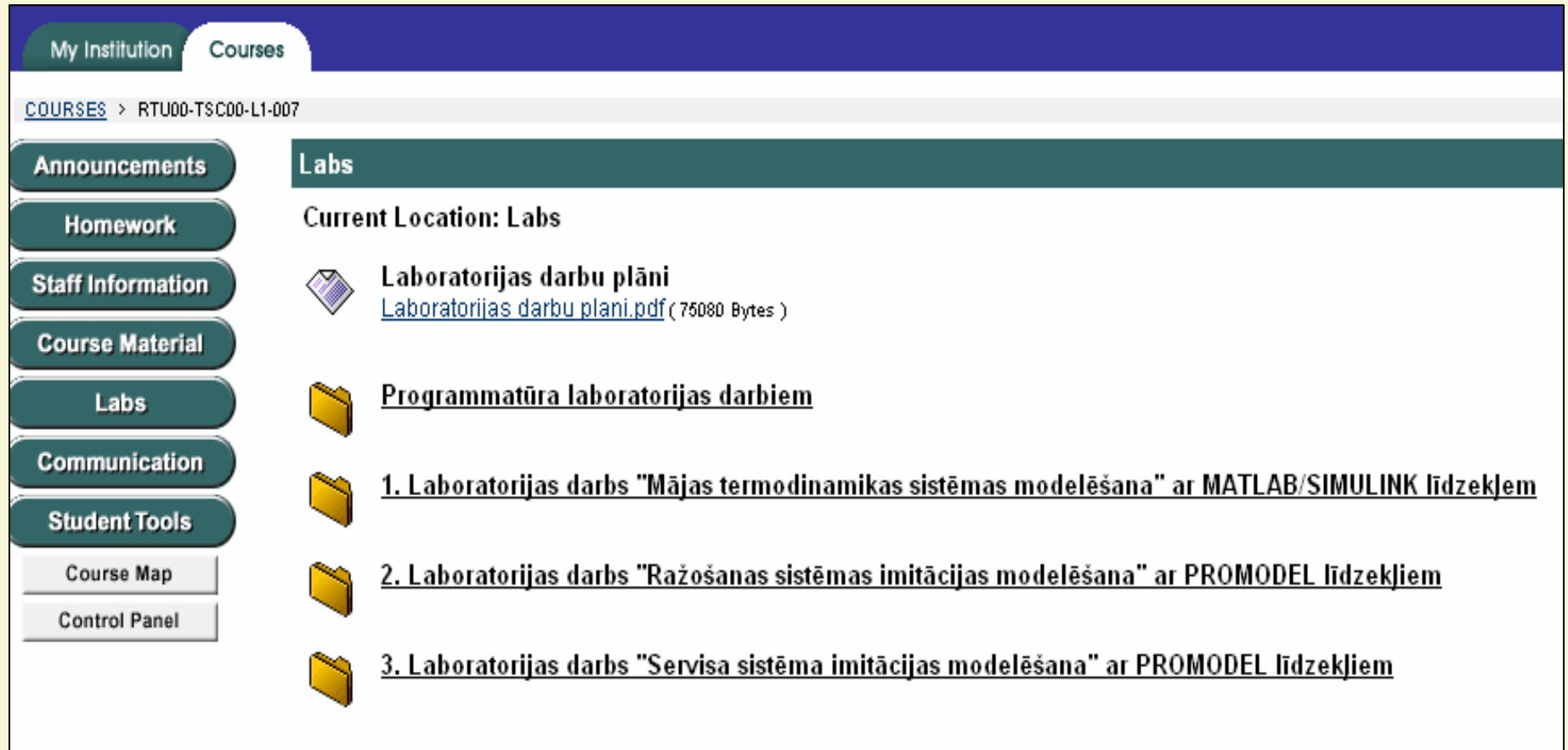
Course Search: Includes a search box with a 'GO!' button and a link to 'advanced search'.

Course List: Displays a list of courses you are teaching. The course 'Sistēmu modelēšanas un imitācijas pamati (DMI201)' is circled in red. The list includes the following courses:

- Manufacturing Planning and Control**
Course ID: RTU00-TSC00-L1-032
Instructor(s): Galina Merkurjeva, Jana Bikovska
- Rūpniecības plānošanas un vadības informācijas sistēmas (DMI421)**
Course ID: RTU00-TSC00-L1-023
Instructor(s): Galina Merkurjeva, Jana Bikovska, Oksana Soško
- Sistēmu modelēšanas un imitācijas pamati (DMI201)**
Course ID: RTU00-TSC00-L1-007
Instructor(s): Galina Merkurjeva, Jana Bikovska, Jeļena Pečerska, Jūlija Petuhova, Inese Upīte
- Vadīšanas sintēzes dinamiskās spēles (DMI554)**
Course ID: RTU00-TSC00-L1-006
Instructor(s): Galina Merkurjeva

Course Catalog: Includes links to 'Development projects', 'EuroFaculty', 'LU', and 'RTU', along with a 'Browse Course Catalog' button.

Laboratorijas darbi



The screenshot displays a web interface for a course management system. At the top, there are tabs for 'My Institution' and 'Courses'. Below the 'Courses' tab, the breadcrumb path 'COURSES > RTU00-TSC00-L1-007' is visible. On the left side, there is a vertical menu with buttons for 'Announcements', 'Homework', 'Staff Information', 'Course Material', 'Labs', 'Communication', and 'Student Tools'. Under 'Student Tools', there are sub-buttons for 'Course Map' and 'Control Panel'. The main content area is titled 'Labs' and shows the 'Current Location: Labs'. It contains a list of items: a PDF file 'Laboratorijas darbu plāni' (75080 Bytes), a folder 'Programmatūra laboratorijas darbiem', and three numbered lab tasks, each preceded by a folder icon. The lab tasks are: 1. 'Laboratorijas darbs "Mājas termodinamikas sistēmas modelēšana" ar MATLAB/SIMULINK līdzekļiem', 2. 'Laboratorijas darbs "Ražošanas sistēmas imitācijas modelēšana" ar PROMODEL līdzekļiem', and 3. 'Laboratorijas darbs "Servisa sistēma imitācijas modelēšana" ar PROMODEL līdzekļiem'.

My Institution Courses

COURSES > RTU00-TSC00-L1-007

Announcements

Homework

Staff Information

Course Material

Labs

Communication


Student Tools


Course Map


Control Panel


Labs

Current Location: Labs

 Laboratorijas darbu plāni
[Laboratorijas darbu plāni.pdf](#) (75080 Bytes)

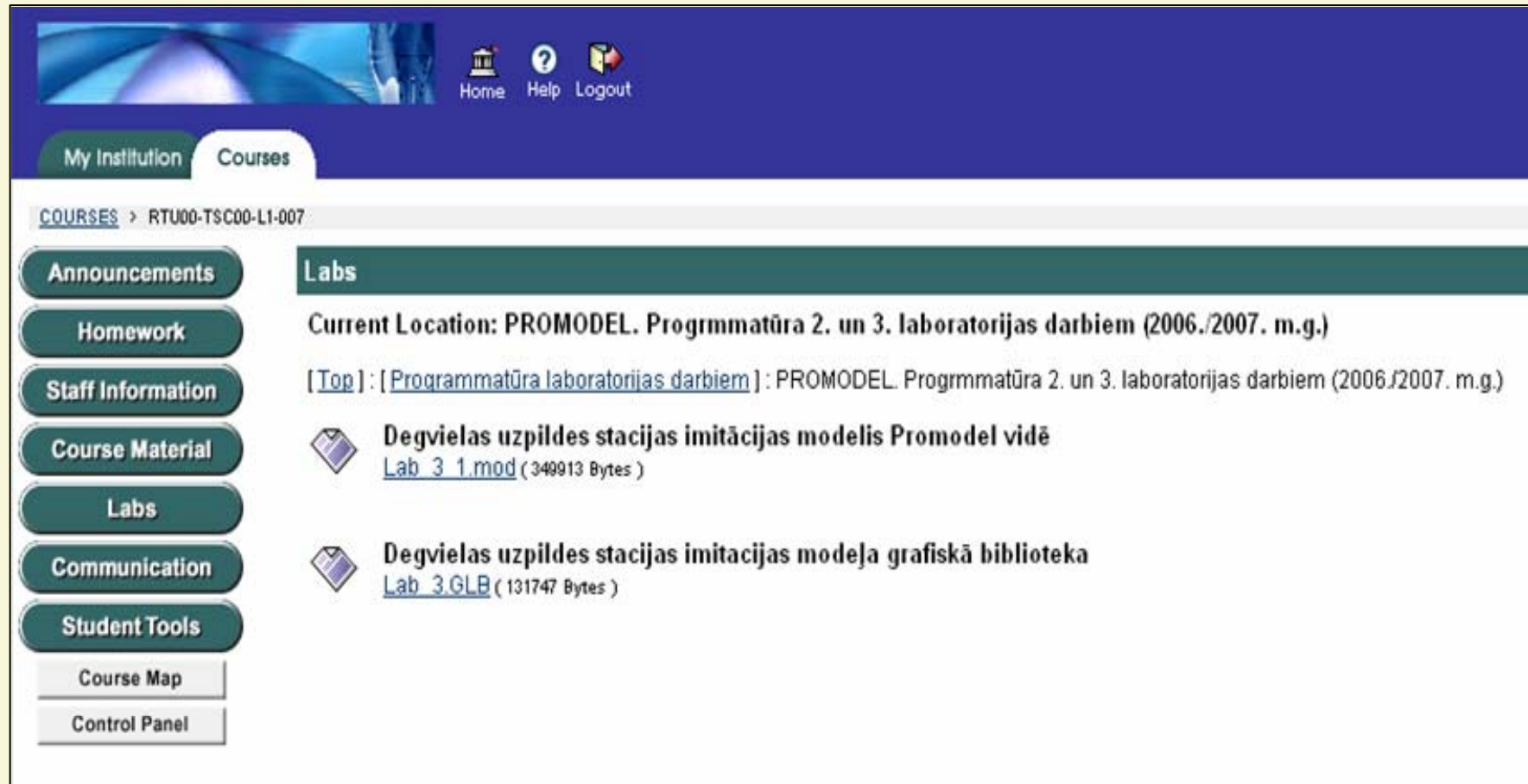
 Programmatūra laboratorijas darbiem

 1. Laboratorijas darbs "Mājas termodinamikas sistēmas modelēšana" ar MATLAB/SIMULINK līdzekļiem

 2. Laboratorijas darbs "Ražošanas sistēmas imitācijas modelēšana" ar PROMODEL līdzekļiem

 3. Laboratorijas darbs "Servisa sistēma imitācijas modelēšana" ar PROMODEL līdzekļiem

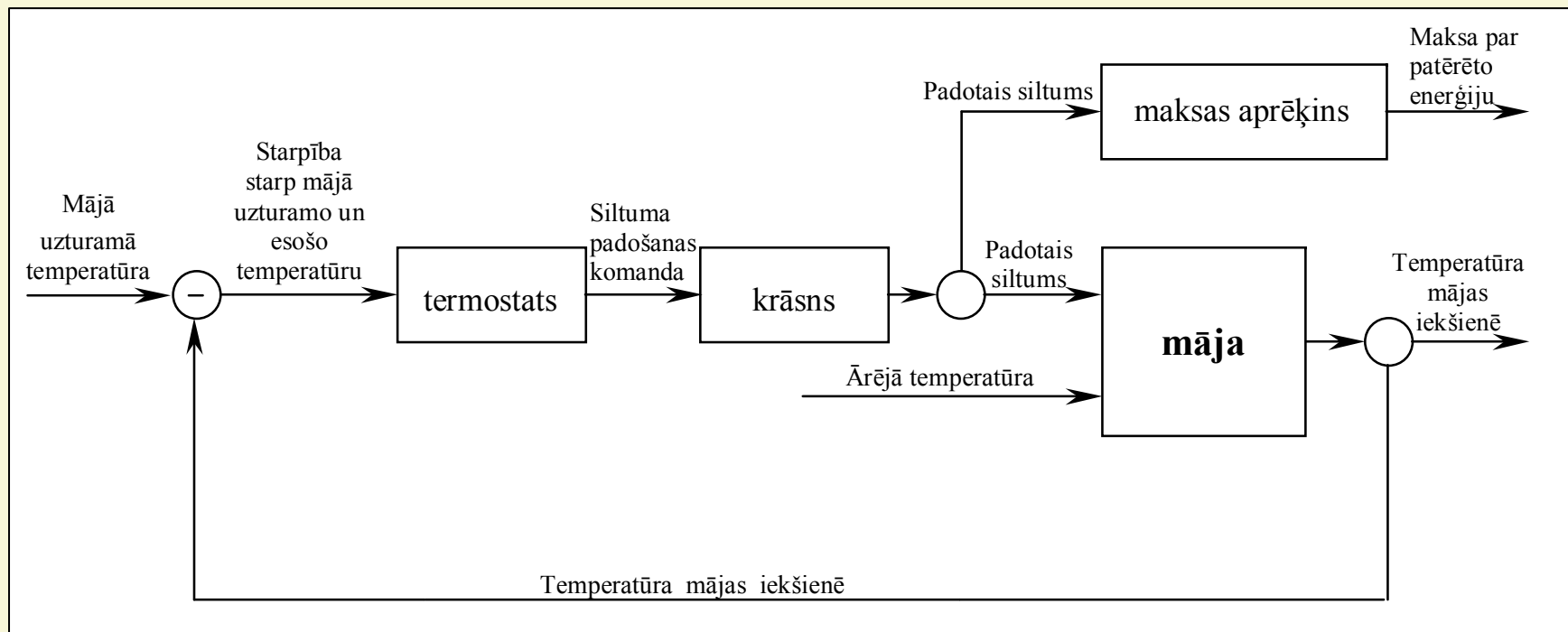
Programmatūra



The screenshot shows a web application interface for a course. At the top, there is a blue header bar with a navigation menu containing 'Home', 'Help', and 'Logout' links. Below the header, there are two tabs: 'My Institution' and 'Courses'. The 'Courses' tab is selected, and the URL bar shows 'COURSES > RTU00-TSC00-L1-007'. On the left side, there is a vertical menu with buttons for 'Announcements', 'Homework', 'Staff Information', 'Course Material', 'Labs', 'Communication', and 'Student Tools'. Below these buttons are 'Course Map' and 'Control Panel' links. The main content area is titled 'Labs' and contains the following text: 'Current Location: PROMODEL. Programmatūra 2. un 3. laboratorijas darbiem (2006./2007. m.g.)'. Below this, there is a link '[Top] : [Programmatūra laboratorijas darbiem] : PROMODEL. Programmatūra 2. un 3. laboratorijas darbiem (2006./2007. m.g.)'. There are two file listings, each with a document icon: 'Degvielas uzpildes stacijas imitācijas modelis Promodel vidē' with a link 'Lab_3_1.mod (349913 Bytes)' and 'Degvielas uzpildes stacijas imitācijas modeļa grafiskā biblioteka' with a link 'Lab_3.GLB (131747 Bytes)'.

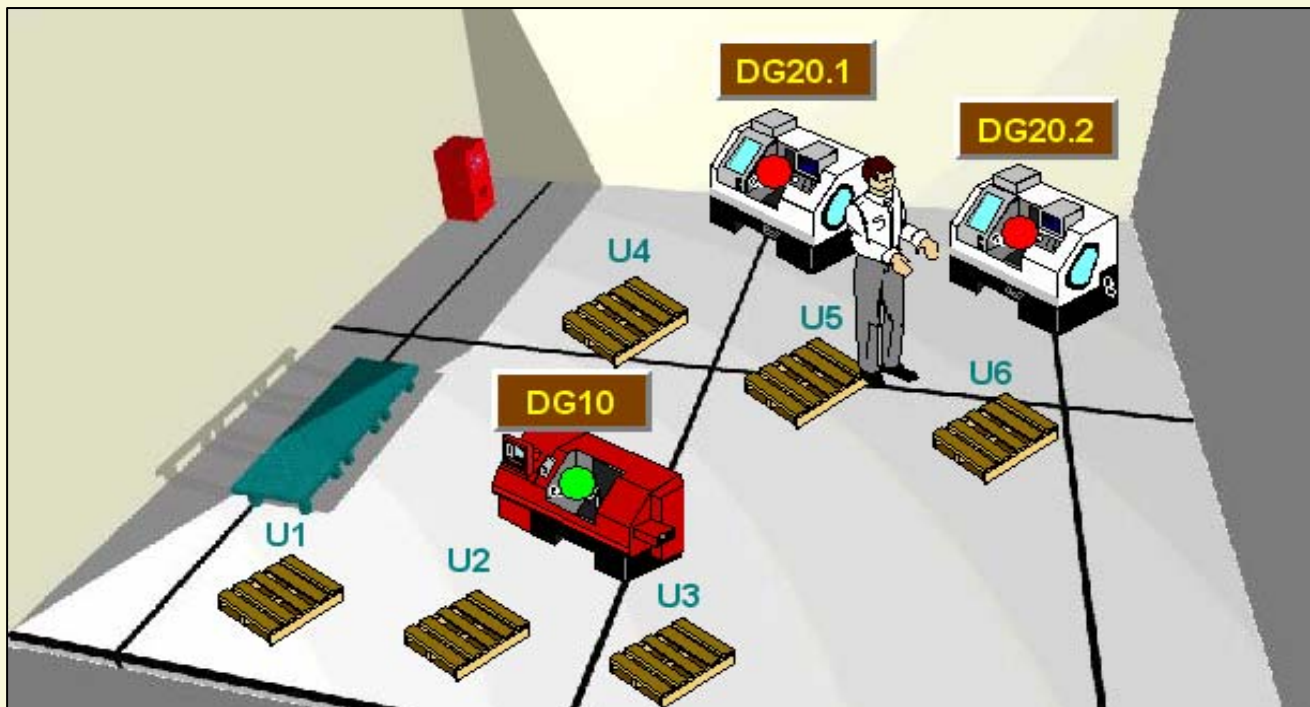
1. laboratorijas darbs

Pašregulējošās mājas termodinamikas sistēmas modelēšana ar MATLAB/SIMULINK



2. laboratorijas darbs

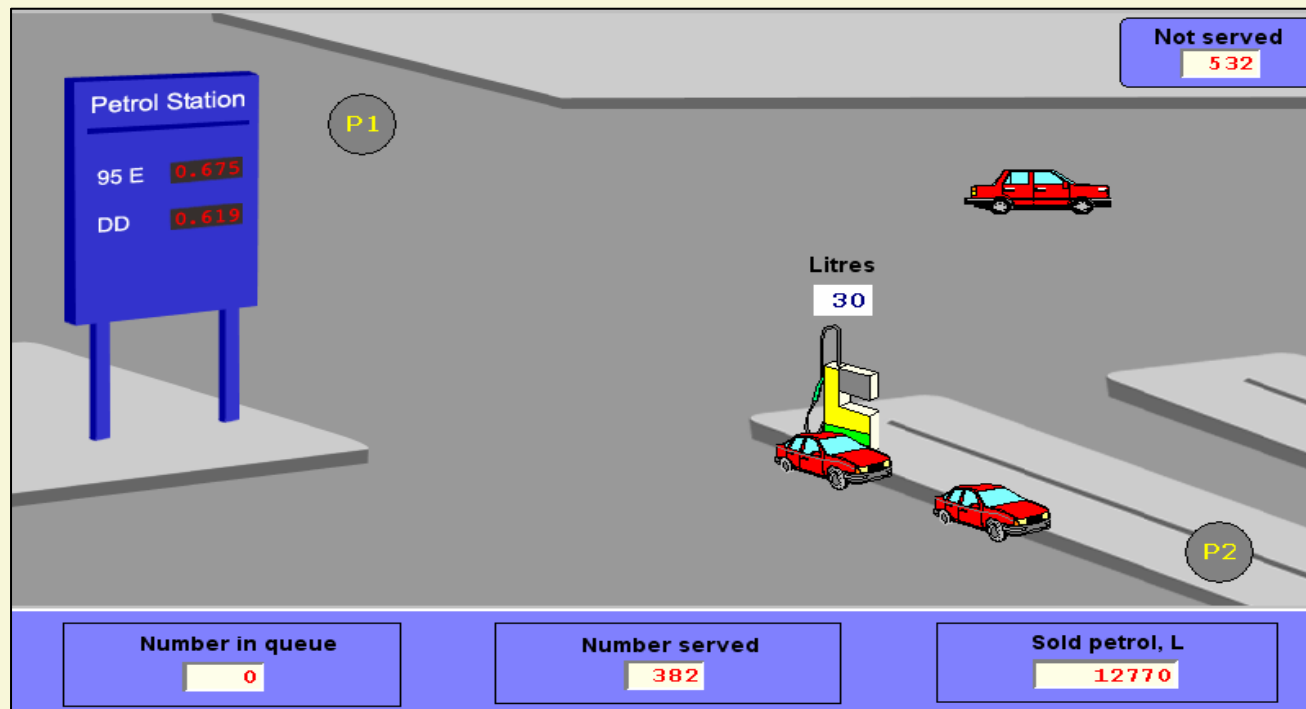
Ražošanas sistēmas imitācijas modelēšana ar PROMODEL līdzekļiem



Ražošanas iecirkņa modeļa attēls

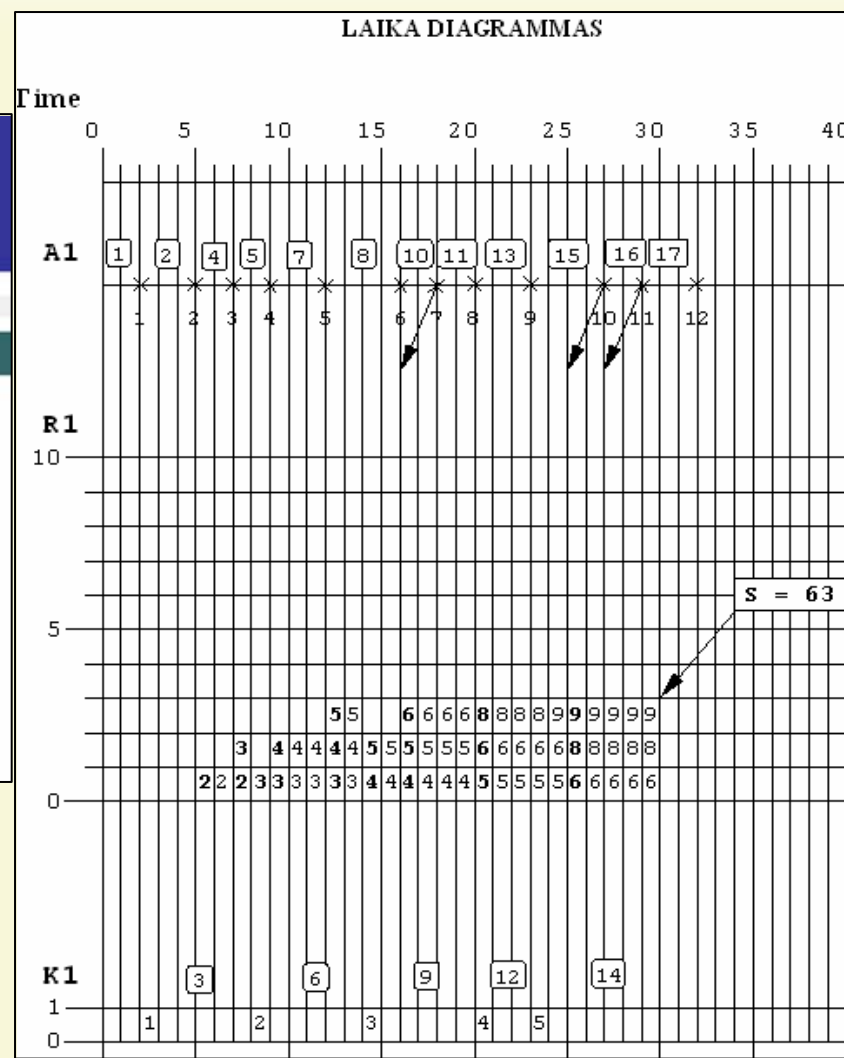
3. laboratorijas darbs

- Servisa sistēmas imitācijas modelēšana ar PROMODEL līdzekļiem



Degvielas uzpildes stacijas modeļa attēls

Studiju darbs

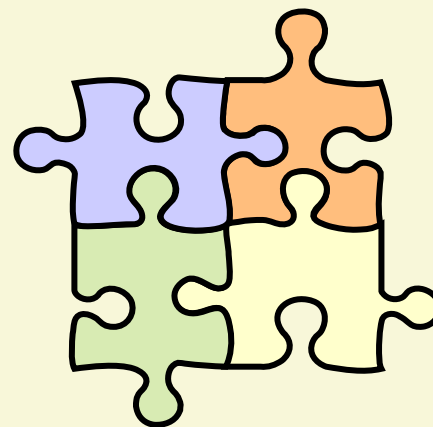


RTU akadēmisko bakalauru studiju programmas "Datorsistēmas" datorzinātnes pamatkursu pilnveidošana

VPD1/ ESF/PIAA/04/APK/3.2.3.2/0065/0007

1. tēma. Sistēmu analīzes pamatjēdzieni

- 1.1. Sistēmas definīcijas
- 1.2. Sistēmas elementi un dinamika
- 1.3. Sistēmas raksturojums
- 1.4. Sistēmas klasifikācija
- 1.5. Sistēmas sarežģītība

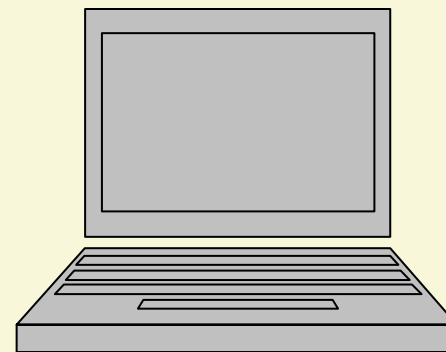


1.1. Sistēmas definīcijas

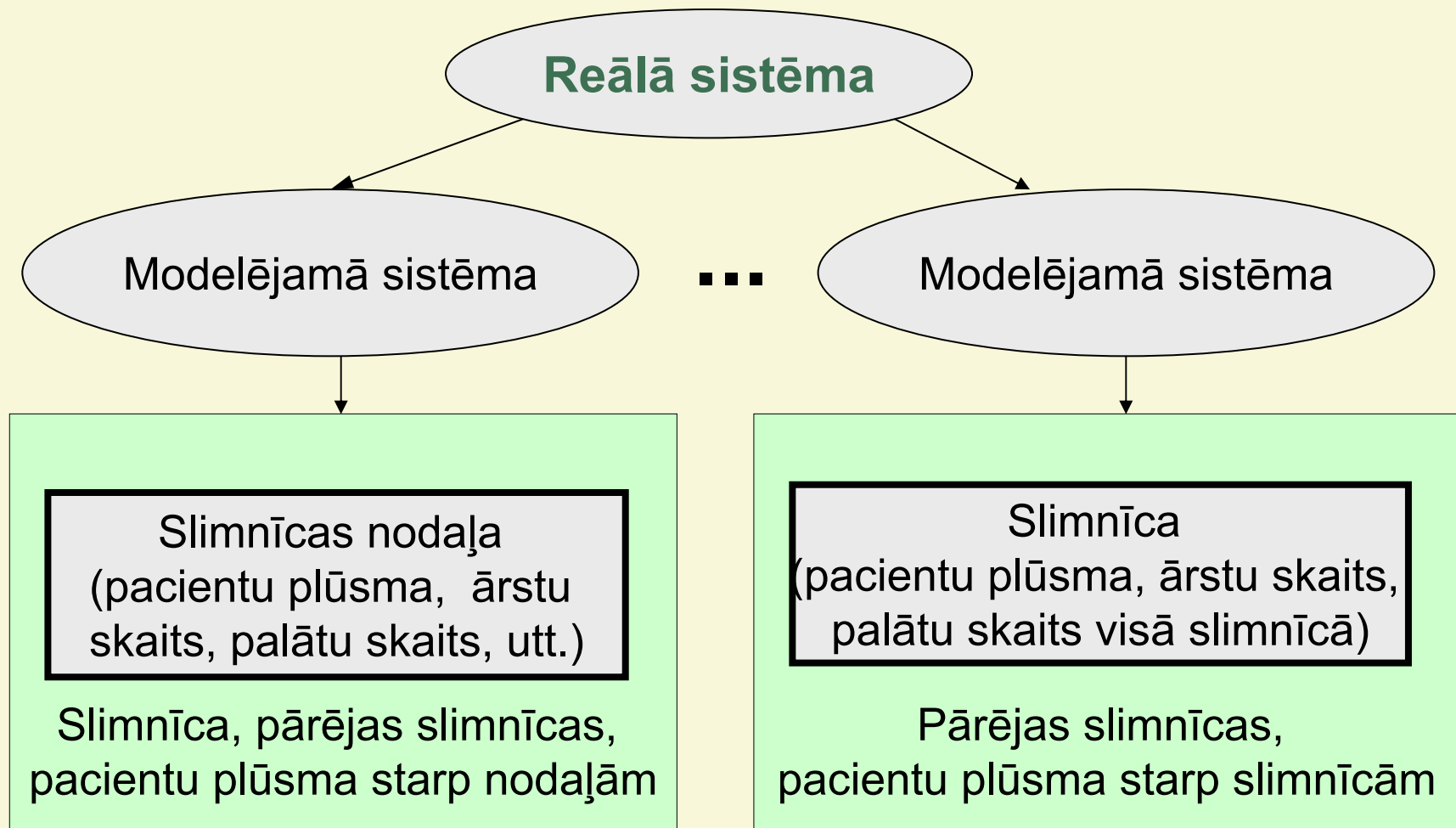
- Konceptuālā definīcija
 - sistēma ir jebkuras dabas savstarpēji saistītu komponentu kopa, kas sakārtotas pēc attiecībām, kurām ir pilnīgi noteiktas īpašības. Šo kopu raksturo vienotība, kas izpaužas kopas funkcijās un integrālās īpašībās
 - system is defined as a collection of elements that function together to achieve a desired goal (Blanchard 1991)

Sistēmas pazīmes

- Elementu kopa
- Sakari starp elementiem
- Sistēmas robežas
- Sakari ar apkārtējo vidi
- Sistēmas īpašības
- Sistēmas funkcijas (funkcionēšanas mērķis)
- Piemēri: transporta sistēmas, tehniskas sistēmas (1.darbs), politiskas sistēmas, ekonomiskas sistēmas, ražošanas sistēmas (2.darbs) , servisa sistēmas (3. darbs), utt.



Sistēmas robežas



Matemātiskā definīcija

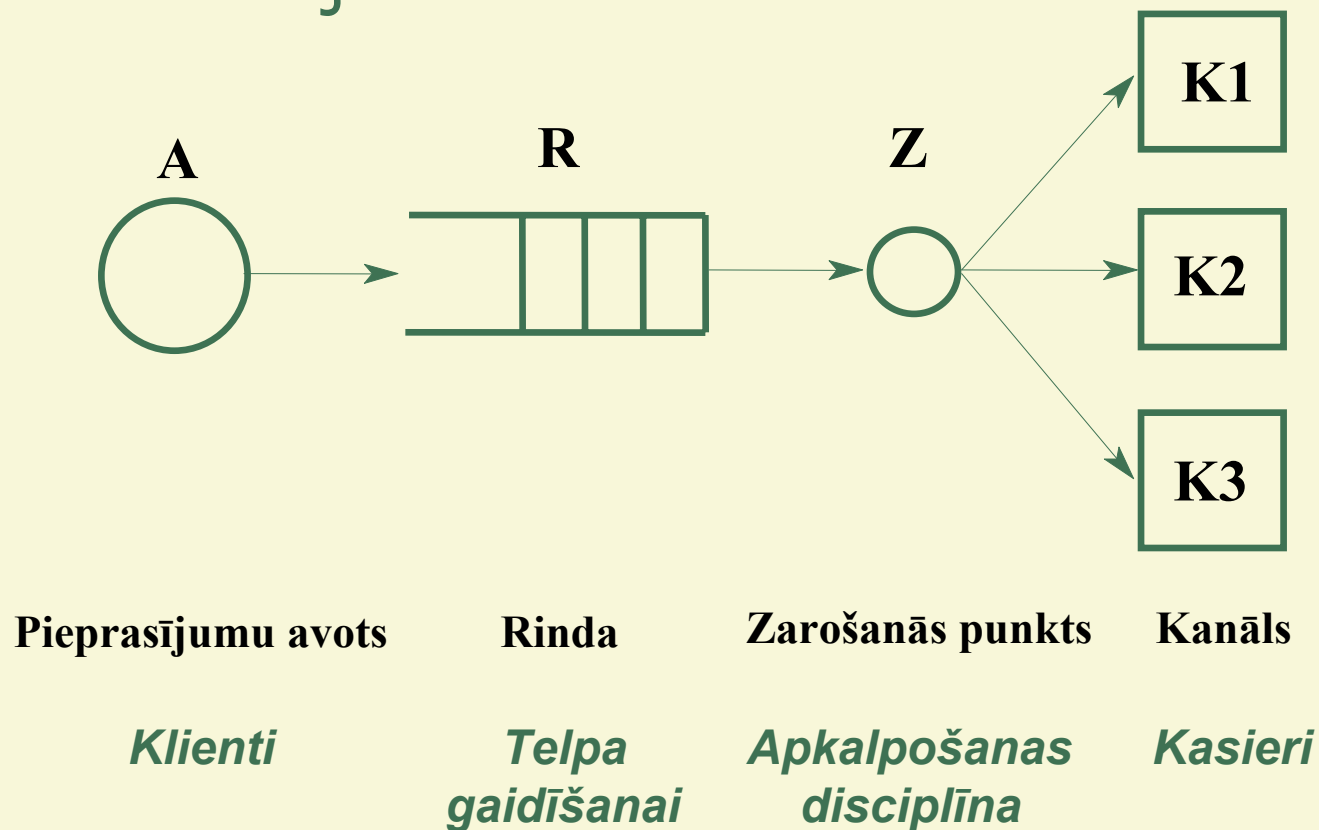
- Sistēma ir sakārtots (strukturizēts) elementu sakopojums, kam definētas:
 - elementu kopa $E = \{e_i\}$, $i = 1, 2, \dots$, kuriem ir noteiktas īpašības;
 - attieksmes R starp elementiem, piemēram, bināras attieksmes $R = (e_i, e_j)$, $i, j = 1, 2, \dots$.

Sistēmas nedalāmības princips

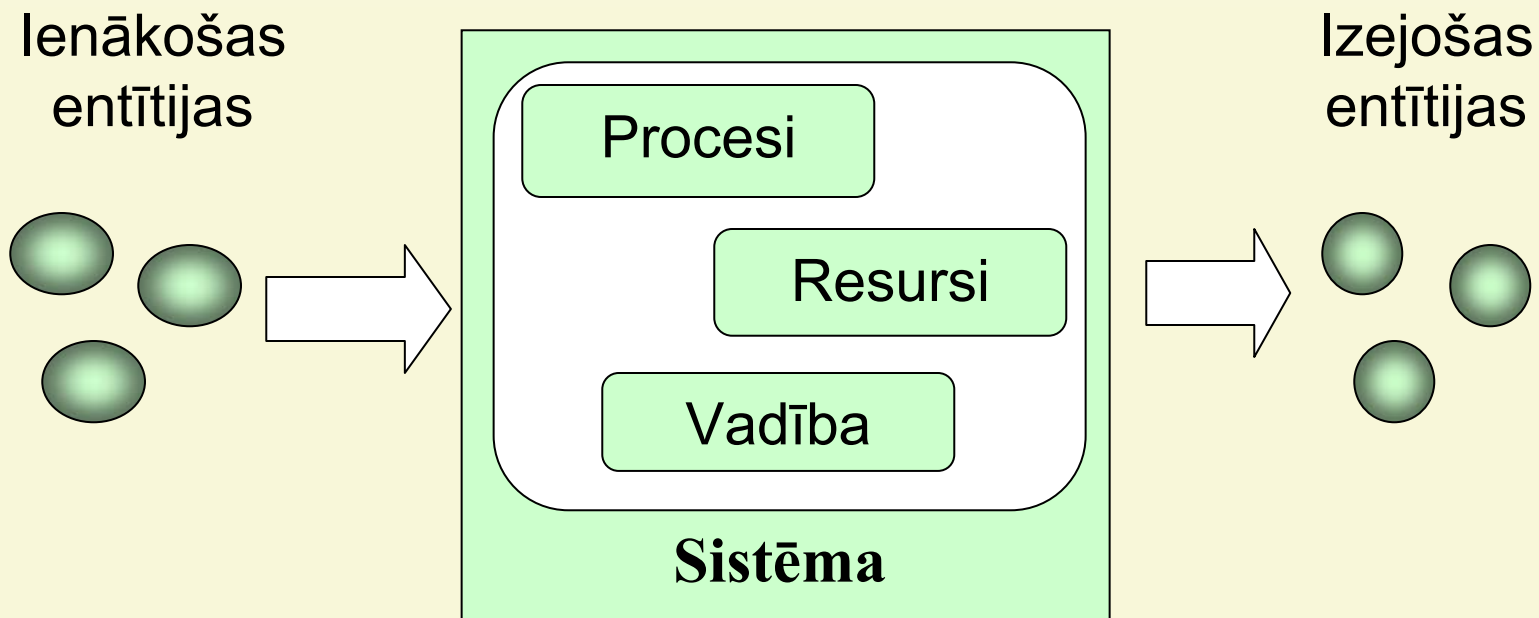
- Sistēmas īpašības nevar apskatīt kā vienkārši sistēmas elementu īpašību summu
- Sistēmas īpašības nevar atvasināt no sistēmas elementu īpašībām

Sistēmas struktūra $S=[E,R]$

Bankas nodaļa



1.2. Sistēmas elementi un dinamika (1)



- Entītijas ir objekti, kuri tiek apstrādāti sistēmā:
 - cilvēki vai pārējas dzīves būtnes (klienti, pacienti)
 - nedzīvie priekšmeti (daļas, dokumenti)
 - nesataustāmie priekšmeti (zvani, elektroniskas vēstules)

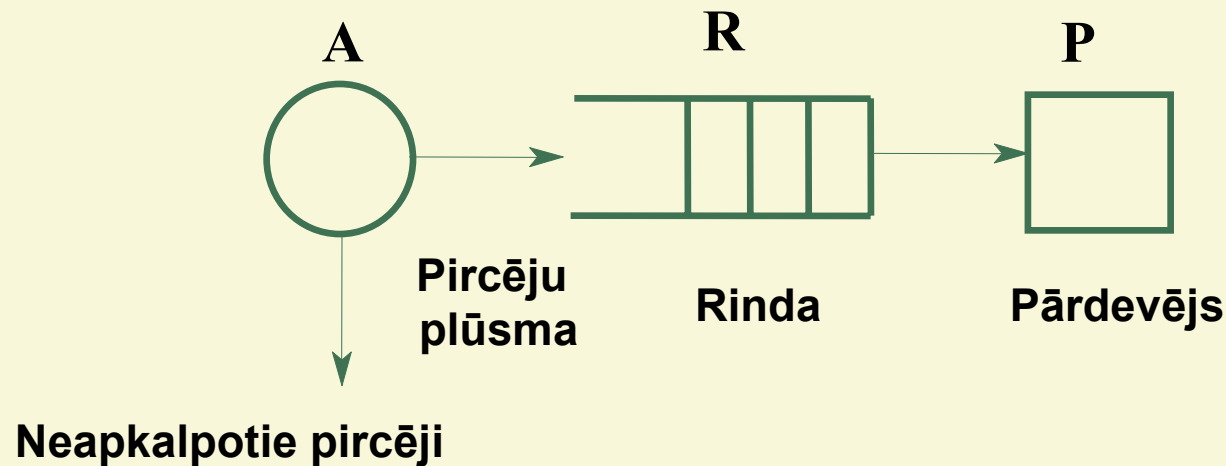
Sistēmas elementi un dinamika (2)

- Procesi definē ar entītijām veiktās operācijas vai darbības sistēmā (klientu apkalpošana, detaļu apstrāde); aktivitātes prasa laiku un resursus
- Resursi ir līdzekļi, ar kuru palīdzību var veikt operācijas vai izpildīt darbības. Piemēram, serveris, iekārtas, instrumenti, operatori, informācija, elektroenerģija
- Resursu raksturojumi: iekārtu kapacitāte, uzstādīšanas laiks, transportlīdzekļa pārvietošanas ātrums. Resursi var būt pastāvīgie/mainīgie, mobilie/stacionārie
- Vadības signāli norāda kur, kad un kā veikt operācijas vai izpildīt darbības. Piemēram:
 - maršrutizācijas shēma
 - ražošanas plāns
 - instrukcijas
 - kalendāra plāns
 - uzdevumu prioritāte

1.3. Sistēmas raksturojums

- Sistēmas atribūti – lielumi, kuri raksturo gan pašus elementus, gan to saites ar pārējiem elementiem
- Sistēmas stāvoklis $S(t)$ – visu sistēmas atribūtu $S_1(t)$, $S_2(t), \dots, S_j(t), \dots$ Kopa laikā momenta t
- Novērošanas laika intervāls T – laika intervāls, kurā sistēma tiek novērota
- Sistēmas darba gājiens $\{S(t), t \in T\}$ – stāvokļu vektora konkrēta realizācija kā laika funkcija intervālā T ietvaros
- Notikums – sistēmas stāvokļu maiņa
- Notikumu laika moments – laika moments, kurā notiek notikums
- Process – notikumu secība, kura ir sakārtota laikā

Sistēmas raksturojuma piemērs



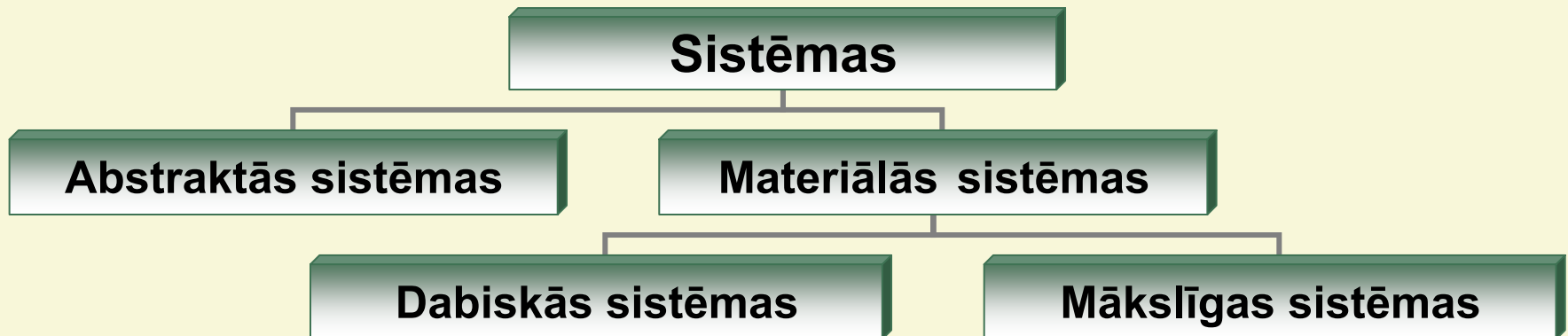
- Notikumi $N = \{N_1, N_2\}$, N_1 – ienāk pircējs, N_2 – pārdevējs beidz apkalpot
- Sistēmas stāvoklis $S(t) = \{ \langle R(t), P(t) \rangle \}$
- Rindas stāvoklis $R(t) = R_i$ – aizņemto vietu skaits rindā
- Pārdevēja stāvoklis $P(t) = \begin{cases} 0, & \text{pārdevējs ir brīvs} \\ 1, & \text{pārdevējs ir aizņemts} \end{cases}$

Stāvokļu tabula (matrica)

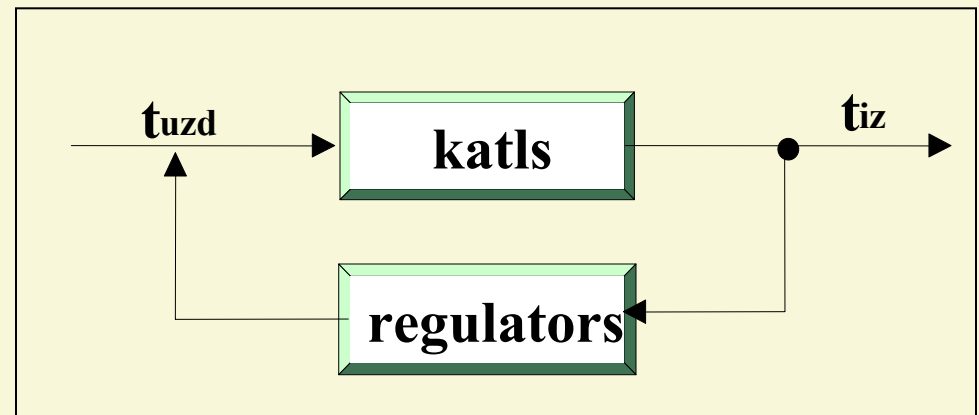
t_i	N_i	S_i	Atribūti		
			R_i	P_i	S_i
t_0		S_0	0	0	0
t_1	N_1	S_1	0	1	0
t_2	N_1	S_2	1	1	0
t_3	N_2	S_1	0	1	0
...

- Process = { N_1, N_1, N_2, \dots }
- Sistēmas darba gājiens = { $S_0, S_1, S_2, S_1, \dots$ }

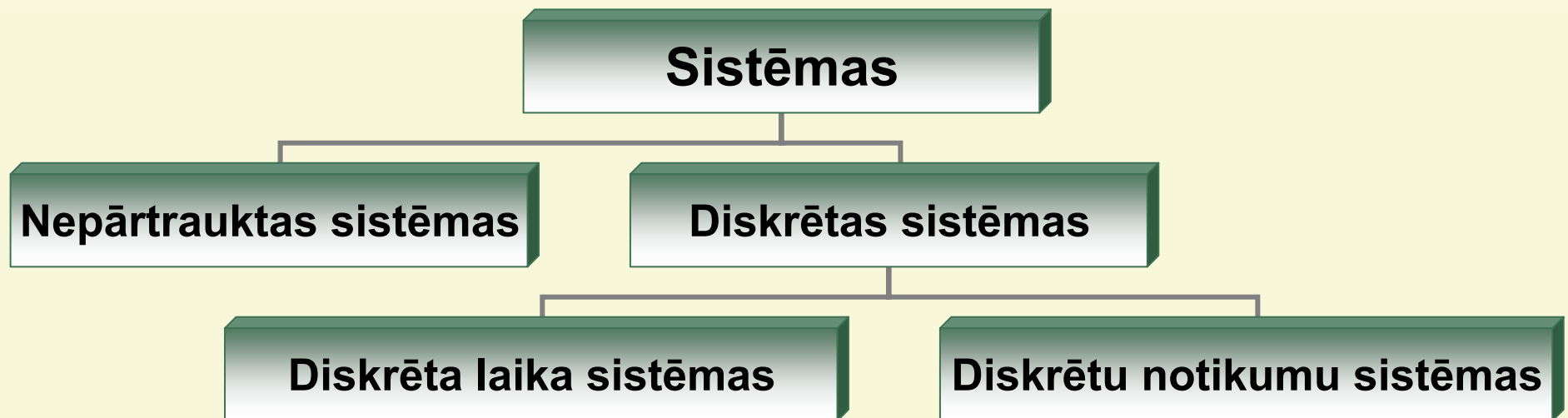
1.4. Sistēmu klasifikācijas shēma



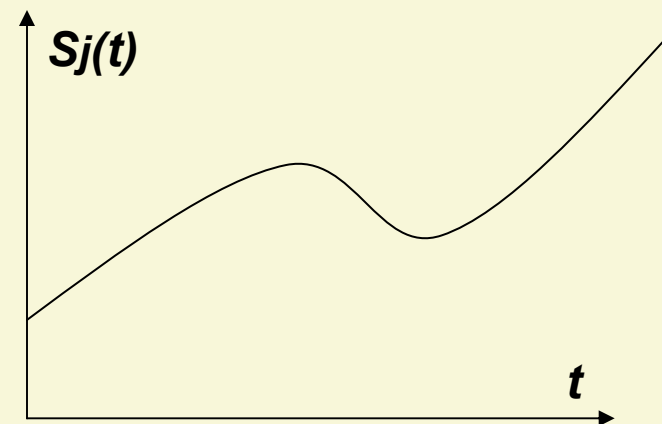
- Vadības sistēmās tiek realizēts vadības process, sadarbojoties vadības daļai ar vadāmo objektu (sk. 1. lab. darbu)



Nepārtrauktās un diskrētās sistēmas



- Sistēmas stāvoklis mainās monotoni un nepārtraukti laikā, t.i.
- $S_j(t)$ – nepārtrauktas laika funkcijas (sk. 1. lab. darbu)

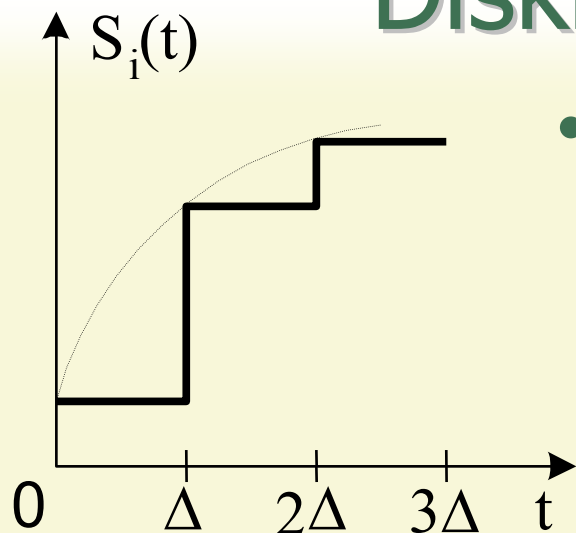


Diskrētas sistēmas

- Sistēma var atrasties tikai stingri noteiktos diskrētos stāvokļos, t.i.

$$S(t) \in \{S_1, S_2, \dots\}$$

Diskrēta laika sistēmas

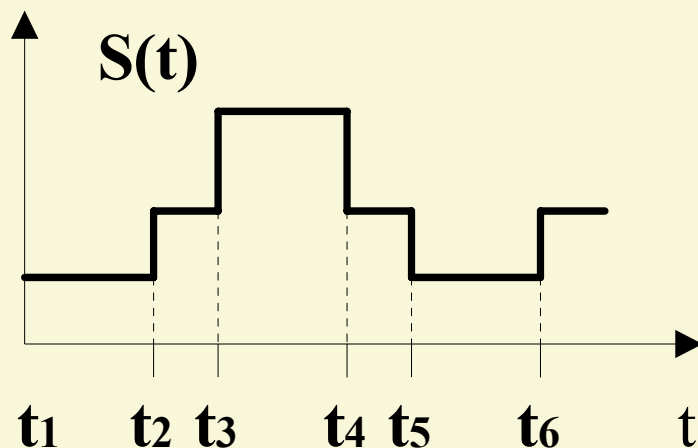


- Sistēma tiek novērota noteiktos laika momentos. Līdz ar to sistēmas stāvoklis mainās tikai šajos konkrētajos laika momentos (piemēram, ekonomiskajā modelēšanā)

Nepārtraukta laikā – diskrētu notikumu sistēmas

- Sistēma maina savu stāvokli nenoteiktos laika momentos t_1, t_2, \dots . Darba gājiens sastāv no notikumiem šajos momentos:

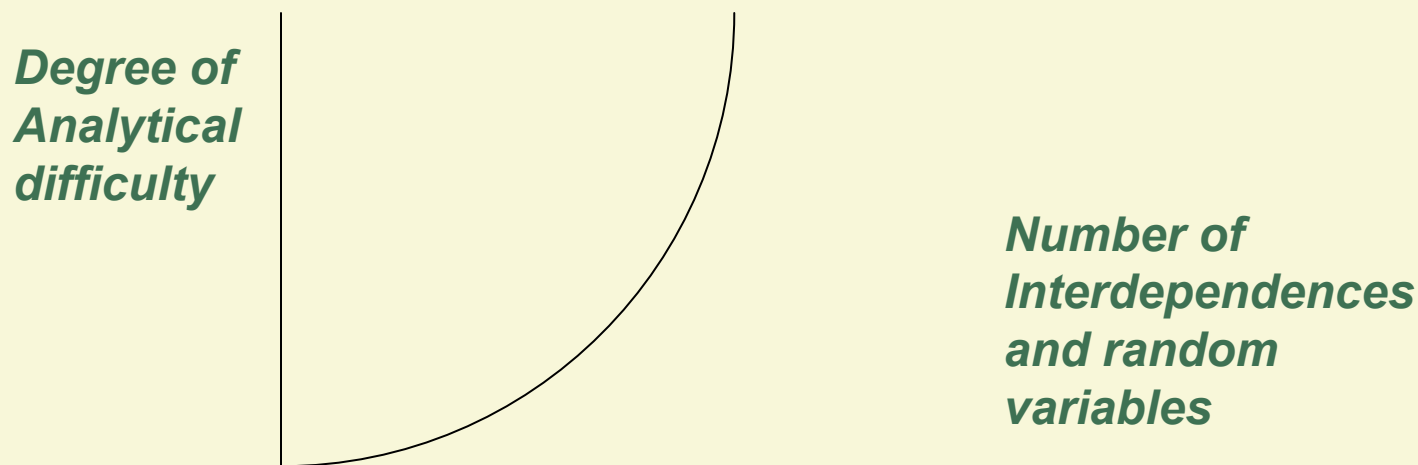
$$\{S(t_1), S(t_2), \dots\}$$



- t_1, t_2, t_3, t_6 – pienāca kārtējais pircējs
- t_4, t_5 – kārtējais pircējs tika apkalpots un aizgāja

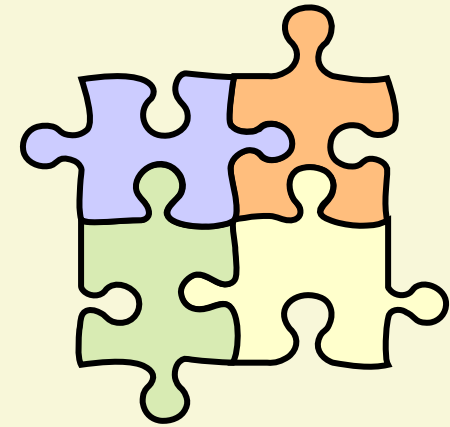
1.5. Sistēmas sarežģītība

- Elementu savstarpēja atkarība (liels skaits savstarpēji sadarbojošos elementu un saišu starp elementiem sarežģītais raksturs un daudzveidība)
- Variabilitāte (mainīgums) – nepastāvīgā, neparedzamā sistēmas uzvedība (iekārtu bojājumi, mainīgais pieprasījums, utt.)



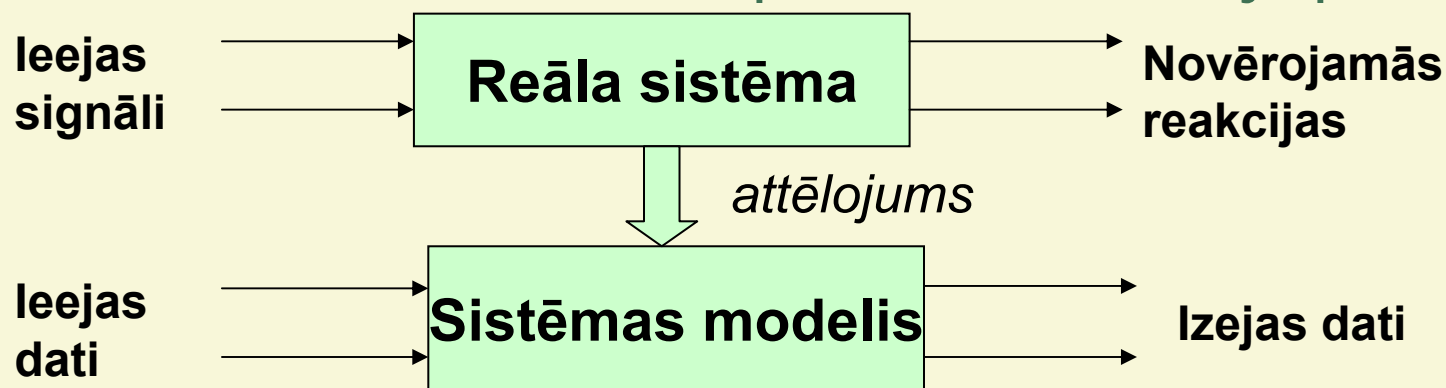
2. tēma. Sistēmu modelēšanas pamatjēdzieni

- 2.1. Modelēšanas jēdziens
- 2.2. Modeļa definīcija
- 2.3. Modelēšanas motivācijas
- 2.4. Modelēšanas pamatpaņēmienu
- 2.5. Modelēšanas uzdevumi
- 2.6. Datormodelēšanas procedūras tipiska struktūra
- 2.7. Modeļu klasifikācija
- 2.8. Matemātisko modeļu klasifikācija



2.1. Modelēšanas jēdziens

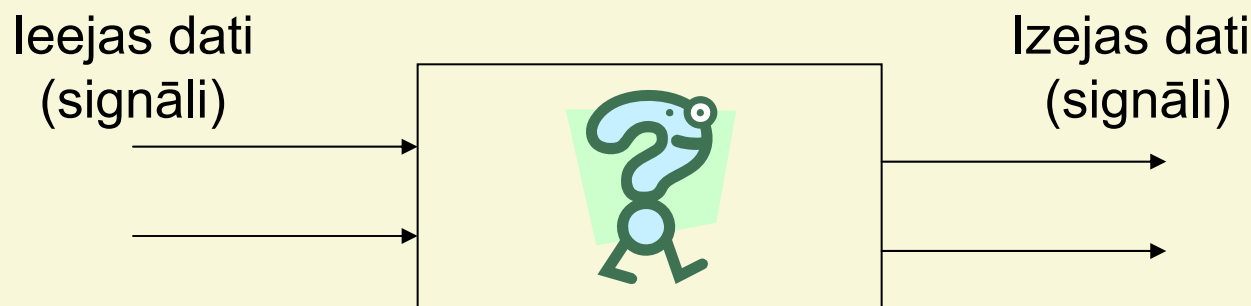
- Modelēšanas būtība: sistēmu pētīšana ar modeļu palīdzību



- Modelēšana mērķis: iegūt jaunu nepieciešamu informāciju par modelējamo sistēmu
- Modelēšanas definīcija: par modelēšanu sauc modeļa izveidošanas un pielietošanas procesu
- Datormodelēšanas jēdziens: modelēšana kas paredz datortehnikas pielietošanu modelēšanas gaitā

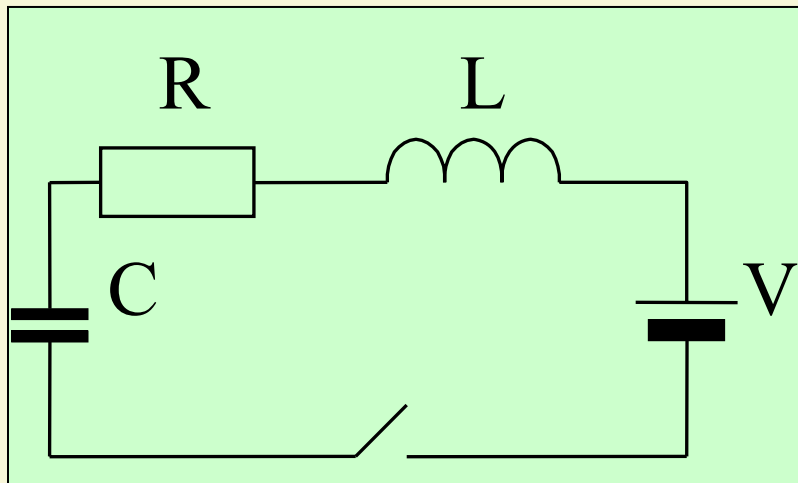
2.2. Modeļa definīcija

- Modelis ir abstrakta vai materiālā sistēma, kura:
 - attēlo modelējamā objekta (t.i. oriģināla) vissvarīgākās īpašības un attiecības
 - izdevīgā formā atspoguļo informāciju par modelējamo objektu
 - var tikt izmantota, lai risinātu uzdevumus, kurus nevar risināt ar paša objekta palīdzību



- Modeļa adekvātuma jēdziens:
 - modelis ir adekvāts modelējamajam objektam, ja tas pietiekami pilnīgi un detalizēti apraksta visas būtiskās objekta īpašības ar precizitāti, ko nosaka mērķis

Piemērs: Elektriskā sistēma



C - kondensators (kapacitāte)

R - rezistors (pretestība)

L - spole (induktivitāte)

V - baterija (elektriskais spriegums)

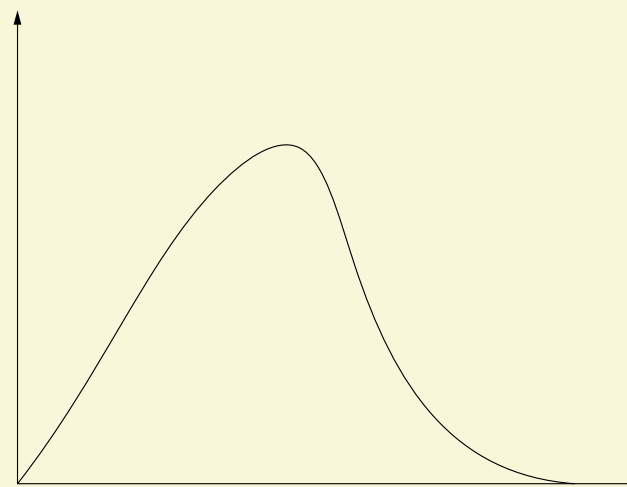
q - kondensatora elektriskais lādiņš

$$q''(t) + \frac{R}{L} \cdot q'(t) + \frac{1}{LC} \cdot q(t) = \frac{1}{L} \cdot V(t).$$

Pielietošanas piemērs – analogais modelis
automobiļa piekares projektēšanai

Prasības modelim

- Modelim ir jābūt:
 - pietiekami precīzam
 - relatīvi vienkāršam
 - atspoguļojošam būtiskos sakarus starp modelējamā objekta elementiem
 - praktiski ērti pielietojamam
- Pareto likums: 20% - 80%
 - 20% (t.i., būtiskais mazākums) sistēmas elementu nosaka
 - 80% (t.i., pamatā) no sistēmas uzvedības



2.3. Modelēšanas motivācijas

- Strādāt ar pašu objektu ir pārāk dārgi, grūti, vai pat bīstami (kodolreaktors, kuģis, rūpnīca)
- Problēmu principiāli nevar atrisināt bez pētāmā objekta modeļa (diagnostika medicīnā, tehnikā)
- Pētāmais objekts vispār vēl neeksistē (konstruēšana)
- Pētāmie procesi ir pārāk lēni vai ātri (bioloģiskās vai astronomiskās sistēmas)

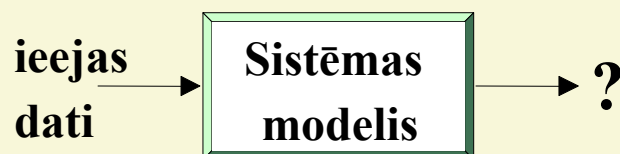


2.4. Modelēšanas pamatpaņēmieni

- Abstrakcija – atteikšanas no nebūtiskajiem sīkumiem un detaļām, kas saistīti ar modelējamās sistēmas dabu
- Dekompozīcija – sistēmas sadalīšana apakšsistēmas
- Agregācija – sistēmas stāvokļu un signālu raksturojumu apvienošana (pretēja dekompozīcijai)
- Vienkāršošana - nebūtisko parametru un signālu izslēgšana
- Randomizācija - gadījuma skaitļu izmantošana, lai aprakstītu sistēmu elementus, kurus nav būtiski modelēt detalizēti
- Specializācija - modeļa izveidošana katram mērķim atsevišķi

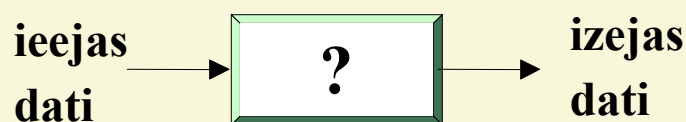
2.5. Modelēšanas uzdevumi

1. Sistēmu analīze (*what if*) – sistēmu reakcijas uz uzdotiem signāliem analīze (2. lab. d.)



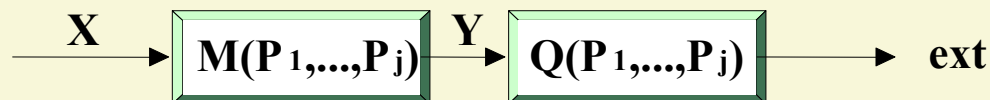
Piemērs: tehnoloģiskā procesa ietekme uz apkārtējo vidi.

2. Sistēmu sintēze – sistēmu ar uzdotām īpašībām radīšana (1. lab. d.)



Piemērs: regulatora struktūras sintēze.

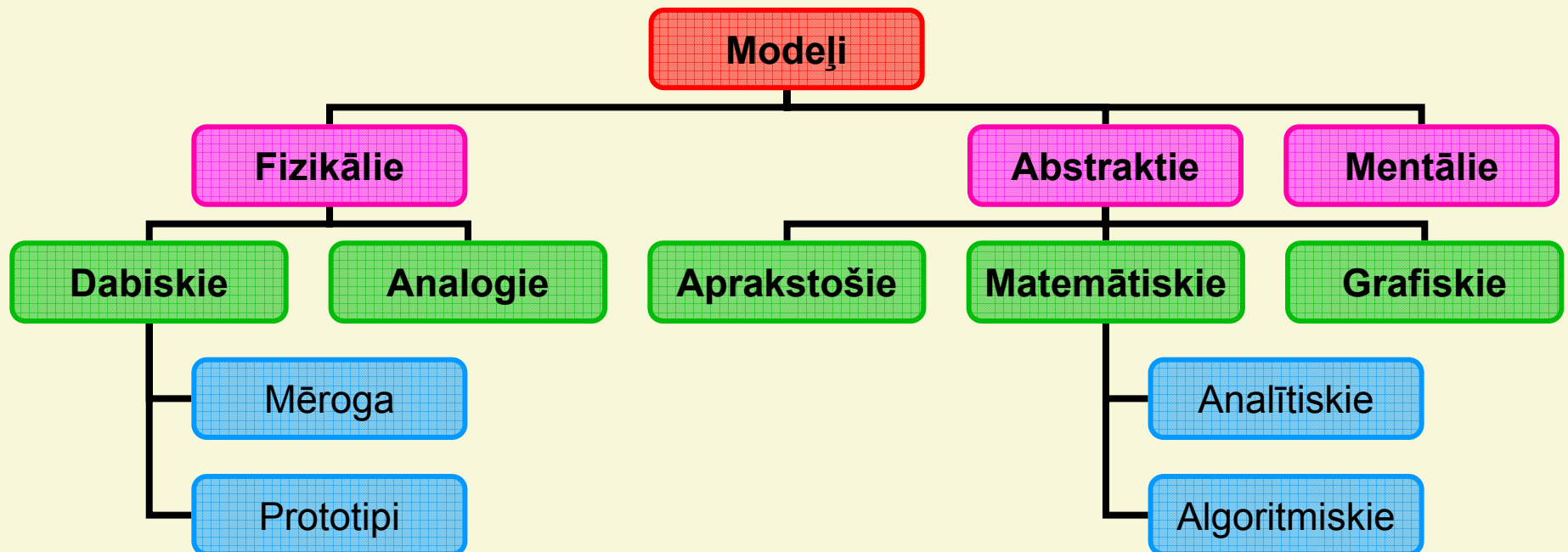
3. Sistēmu optimizācija – optimālo parametru noteikšana (3. lab. d.)



2.6. Datormodelēšanas procedūras tipiska struktūra

1. Modelēšanas problēmas definēšana:
 - modelējamās sistēmas analīze
 - modelēšanas uzdevuma nostādne
2. Modeļa izveidošana
3. Modelēšanas datorprogrammas izveidošana
4. Modeļa adekvātuma pārbaude
5. Eksperimentēšana ar modeli
6. Rezultātu interpretēšana un analīze

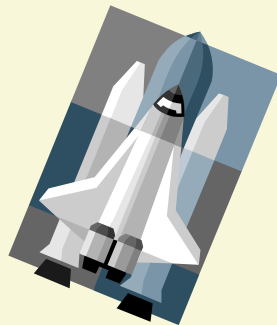
2.7. Modeļu klasifikācija (1)



Modeļu klasifikācija (2)

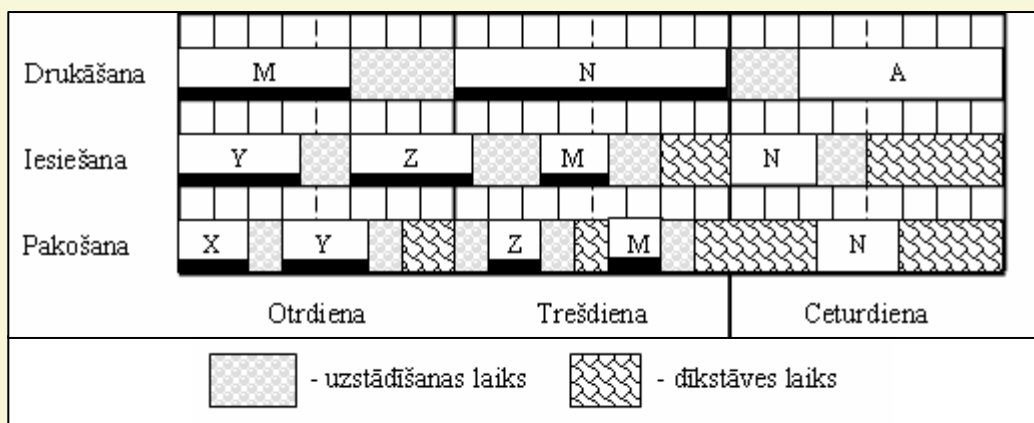
- Fizikālie modeļi

- materiālie objekti kas ir izveidoti tieši modelēšanas mērķiem
- modeļa izveidošanā tiek izmantotas reālas sistēmas fizikālas īpašības:
 - fizikālā daba sakrīt vai ir līdzīga (dabiskie modeļi)
 - izmanto fizikālas dabas analogijas principu (analogie modeļi)



Modeļu klasifikācija (3)

- Abstraktie modeļi – abstrakti apraksti (grafiki, shēmas, vienādojumi, formulas)
 - aprakstošie modeļi – parastā valodā definē sistēmas funkcionēšanas procesu (uzdevuma nostādne, projekta pieteikums)
 - matemātiskie modeļi – tādu formālu attiecību kopa, kuri apraksta saites starp objekta sākuma stāvokli, tekošo stāvokli, ieejas un izejas signāliem
 - grafiskie modeļi – tīkla veida grafi, diagrammas, utt.



Ganta diagrammas piemērs

Modeļu klasifikācija (4)

- Matemātiskie modeļi

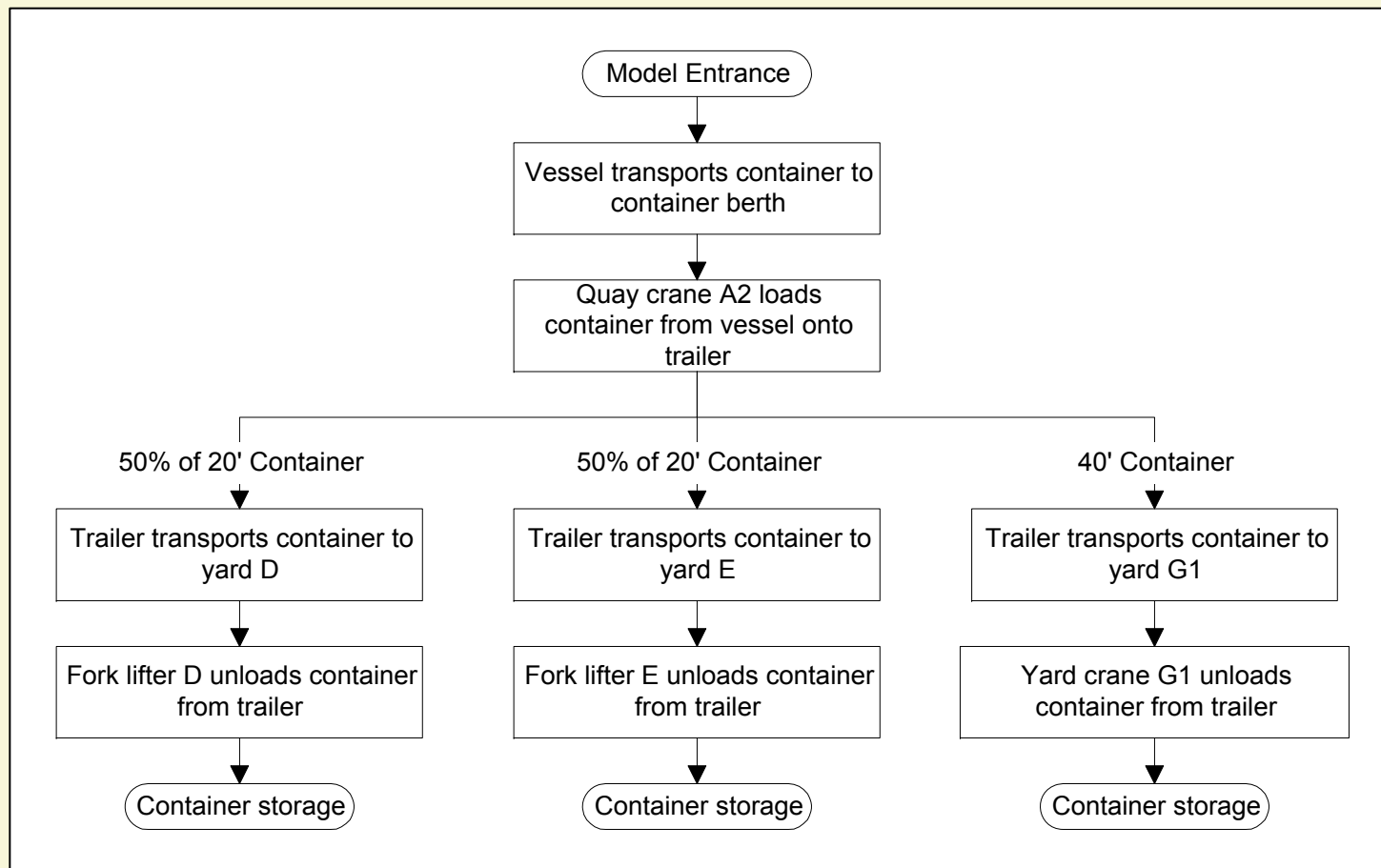
- Analītiskais modelis – tiek uzdots analītisku izteiksmju veidā (formulas, vienādojumi, utt.)



$$U_{iz}(t) = k * U_{ie}(t)$$

- analītiski (iegūt risinājumu vispārīgā veidā ar analītisku izteiksmi)
 - skaitliski (iegūt skaitlisku risinājumu pie uzdotiem nosacījumiem)
 - kvalitatīvi (iespējams noteikt modelējamās sistēmas īpašības (piem. ar analītisku izteiksmi analīze atrisinājuma stabilitāti))
- Algoritmiskais modelis – tiek izveidots algoritmu un atbilstošo datorprogrammu veidā

Modeļu klasifikācija (5)



Algoritma piemērs

Modeļu klasifikācija (6)

- Mentālie modeļi – modeļu izveidošanā izmanto cilvēku pieredzi un zināšanas (piem. lai rakstītu dzejoļus ar datoru palīdzību). Tiek izmantoti mākslīgā intelekta sistēmās (piem. modelis – ekspertu zināšanas likumu veidā.)

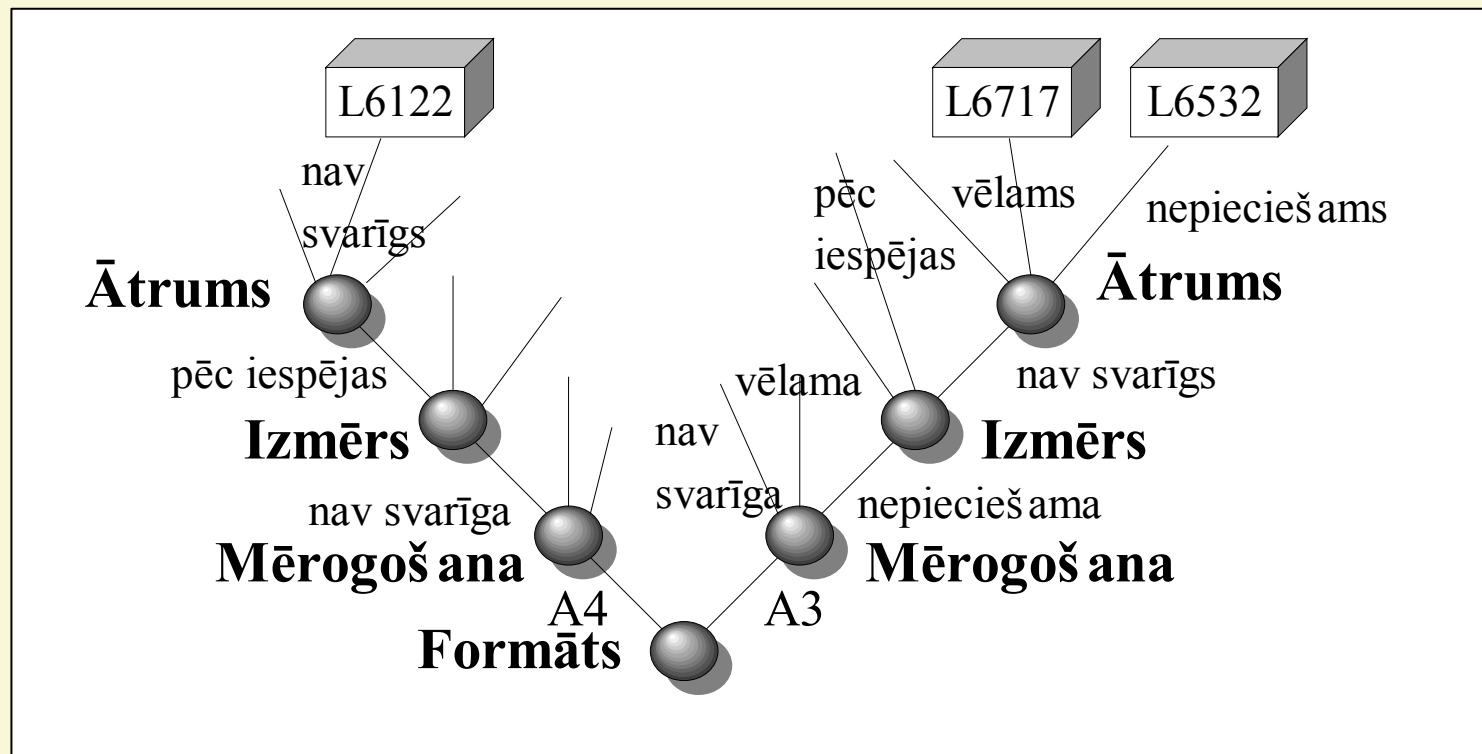
Kopēšanas mašīnas izvēle

Kritērijs	Novērtējums
Formāts	A3, A4
Ātrums	Noteicošais, ir vēlams, nav svarīgs
Mērogošana	Nepieciešama, ir vēlama, nav svarīga
Izmērs	Nav svarīgs, pēc iespējas minimāls

RULE:
IF Ātrums ir noteicošais
THEN
 L6532
ELSE
 L6112 OR L6514

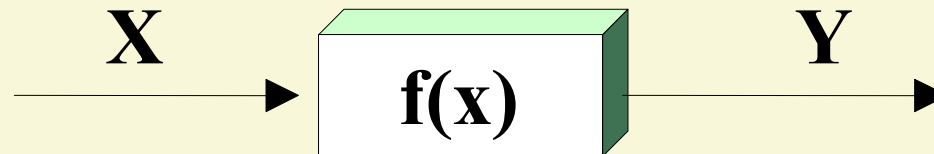
Modeļu klasifikācija (7)

- Grafiskais modelis – lēmuma pieņemšanas grafs



2.8. Matemātisko modeļu klasifikācija (1)

1. Lineārie un nelineārie modeļi



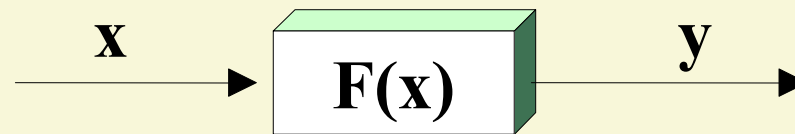
Superpozīcijas princips:

$$y_1 = f(x_1), y_2 = f(x_2) \Rightarrow f(\alpha x_1 + \beta x_2) = \alpha y_1 + \beta y_2$$

Piemēram, $y = a \cdot x$, kur $a = \text{const}$

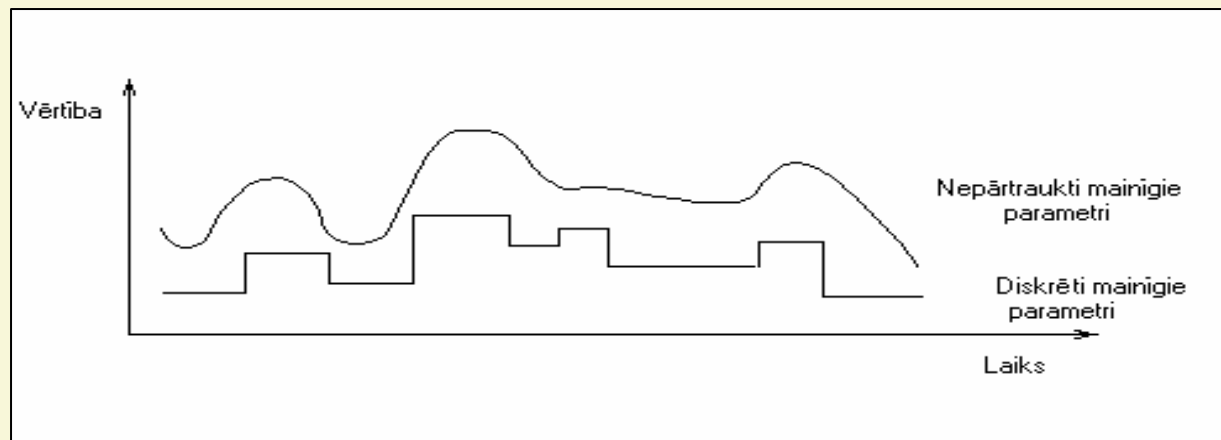
Matemātisko modeļu klasifikācija (2)

2. Dinamiskie un statiskie modeļi



$y(t) = F[x(\tau)] \mid \tau \in [t-T, t]$, kur T - objekta "atmiņa"

3. Diskrētie un nepārtrauktie



Matemātisko modeļu klasifikācija (3)

4. Determinētie un stohastiskie modeļi

$y = a \cdot x$, kur $a = \text{const}$, x - determinēts lielums

$y = a \cdot x + e$, kur $a = \text{const}$, x - determinēts lielums,
 e – gadījuma lielums ar zināmu matemātisko
cerību $M[e] = E$,

Tad $M[y] = M[a \cdot x + e] = M[a \cdot x] + M[e] = a \cdot x + E$,
bet y - ???

5. Stacionārie un nestacionārie modeļi

$y = a \cdot x$, kur $a = \text{const}$

$y = a \cdot x$, kur $a = a(t)$

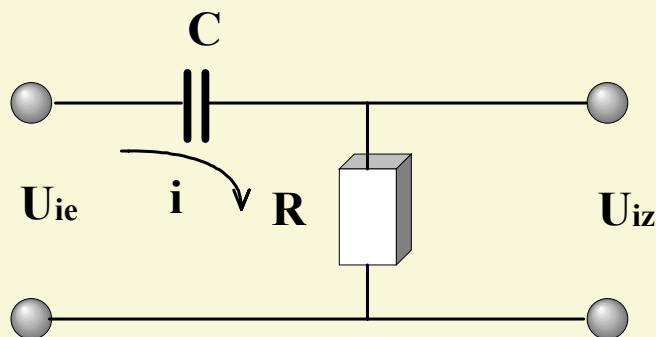
Matemātisko modeļu klasifikācija (4)

- Klasifikācijas pazīmes:
 - V – uzdošanas **V**eids (Analītiskie un algoritmiskie modeļi)
 - L – **L**aika faktors (Dinamiskie un statistiskie modeļi)
 - S – **S**tāvokļu faktors (Diskrētie un nepārtrauktie modeļi)
 - G – **G**adījuma faktors (Determinētie un stohastiskie modeļi)

MatMod = <V, L, S, G>

Matemātisko modeļu klasifikācija (5)

- Piemērs: Diferencējošais RC četrpols



$$U_{ie} = R \cdot i + U_c$$

$$\frac{dU_{ie}}{dt} = R \frac{di}{dt} + \frac{dU_c}{dt}$$

$$\frac{dU_c}{dt} = \frac{1}{C} i, i = \frac{U_{iz}}{R}$$

$$\frac{dU_c}{dt} = \frac{U_{iz}}{RC}, \frac{di}{dt} = \frac{1}{R} \cdot \frac{dU_{iz}}{dt}$$

- Modeļa raksturojums: <analītisks, dinamisks, nepārtraukts, determinēts>
- Pielietojums: automātiskās vadības sistēmas (PI - regulators)

3.tēma. Analītiskās sistēmu modelēšanas pamati

3.1. Diferenciālvienādojumi

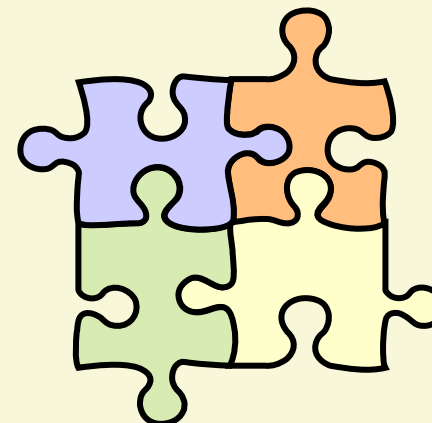
3.2. Diferenču vienādojumi

3.3. Būla funkcijas

3.4. Galīgi automāti

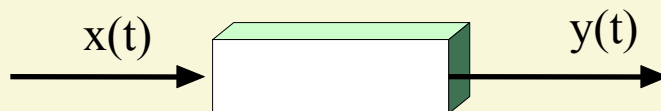
3.5. Tīklveida modeļi

3.6. Petri tīkli



3.1. Diferenciālvienādojumi (1)

- Diferenciālvienādojumi apraksta objektu un procesu izmaiņu raksturu laikā, ievērojot ārējās iedarbes un objektu vai procesu iekšējās īpašības
- Modelējamais objekts:



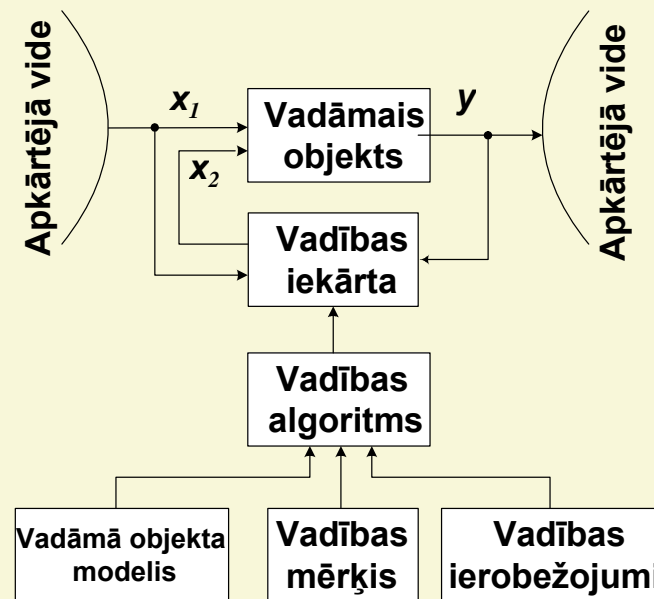
- Vispārīgā n-tās kārtas vienādojuma forma ir:

$$\begin{aligned} a_n \cdot y^{(n)}(t) + a_{n-1} \cdot y^{(n-1)}(t) + \dots + a_1 \cdot y'(t) + a_0 \cdot y(t) = \\ = b_m \cdot x^{(m)}(t) + b_{m-1} \cdot x^{(m-1)}(t) + \dots + b_1 \cdot x'(t) + b_0 \cdot x(t) \end{aligned}$$

- Fiziski realizējamie objekti: $m \leq n$

Diferenciālvienādojumi (2)

- Diferenciālvienādojumus pielieto:
 - automātiskas vadības sistēmu modelēšanā
 - tehnoloģisko procesu automatizēto vadības sistēmu vadības objektu modelēšanā



Vadības sistēmu struktūra

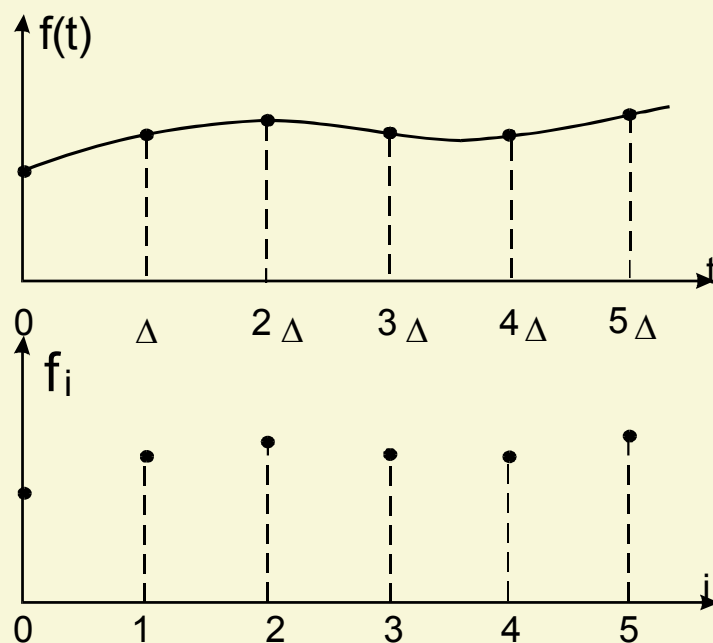
Diferenciālvienādojumi (3)

- Dažādus diferenciālvienādojuma tipus pielieto dažādu sistēmu aprakstam

Sistēmas tips	Diferenciālvienādojuma tips
Vispārīgā gadījumā nepārtrauktas sistēmas	Parastie vai parciālie diferenciālvienādojumi
Diskrētas sistēmas	Diferenču vienādojumi
Lineāras nepārtrauktas sistēmas	Lineāri diferenciālvienādojumi
Nelineāras nepārtrauktas sistēmas	Nelineāri diferenciālvienādojumi
Stacionāras sistēmas	Diferenciālvienādojumi ar konstantiem koeficientiem
Nestacionāras sistēmas	Diferenciālvienādojumi ar laika funkcijām

3.2. Diferenču vienādojumi

- Tas ir diferenciālvienādojumu tips, ko izmanto diskrēto sistēmu aprakstam



$$c_0 \cdot y_i + c_1 \cdot y_{i-1} + c_2 \cdot y_{i-2} + \dots + c_n \cdot y_{i-n} = \\ = d_0 \cdot x_i + d_1 \cdot x_{i-1} + d_2 \cdot x_{i-2} + \dots + d_m \cdot x_{i-m}$$

$$y_0, y_1, \dots, y_{n-1} \Rightarrow y_n \rightarrow y_{n+1} \rightarrow y_{n+2} \rightarrow \dots$$

Diferenču vienādojumu piemērs

$$a_1 \cdot y'(t) + a_0 \cdot y(t) = b_0 \cdot x(t)$$

Šeit:

$$y'(t) = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{y(t) - y(t - \Delta)}{\Delta}$$

Pie galīga Δ :

$$y'(t) = \frac{y(t) - y(t - \Delta)}{\Delta};$$

$$a_1 \cdot \frac{y(t) - y(t - \Delta)}{\Delta} + a_0 \cdot y(t) = b_0 \cdot x(t),$$

$$(a_1 + a_0 \cdot \Delta) \cdot y(t) - a_1 \cdot y(t - \Delta) = b_0 \cdot \Delta \cdot x(t);$$

Apzīmēsim:

$$a_1 + a_0 \cdot \Delta = c_0, \quad -a_1 = c_1, \quad b_0 \cdot \Delta = d_0,$$

$$x(t) = x_i, \quad y(t) = y_i, \quad y(t - \Delta) = y_{i-1};$$

Tad:

$$c_0 \cdot y_i + c_1 \cdot y_{i-1} = d_0 \cdot x_i$$

3.3. Būla funkcijas

- Būla funkcija ir funkcijas $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, kas var pieņemt tikai divas patiesumvērtības 0 un 1 ("aplams" un "paties")
- No n Būla mainīgiem var izveidot 2^n šo mainīgo kombināciju, kas neatkārtojas
- Būla funkcijas parasti uzdod ar patiesuma tabulu palīdzību

X_1	X_2	$F_1 =$ $= X_1 \wedge X_2$	$F_2 =$ $= X_1 \vee X_2$	$F_3 = \bar{X}_1$	$F_4 = \bar{X}_2$	$F_5 =$ $= X_1 \wedge \bar{X}_2$
0	0	0	0	1	1	0
0	1	0	1	1	0	0
1	0	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0	0

*Patiesuma tabulas
piemērs*

- Būla funkcijas pielieto:
 - releju un kontaktu shēmu
 - diskrētu automātu
 - ESM iekārtu un programmu analīzē un sintēzē

Būla algebra

- Elementāro Būla funkciju algebras operācijas ir:

$$y_1 = 0, \quad y_2 = \bar{x},$$

$$y_3 = x_1 \vee x_2, \quad - \text{atbilst loģiskam UN}$$

$$y_4 = x_1 \wedge x_2, \quad - \text{atbilst loģiskam VAI}$$

- Būla algebras loģisko operāciju likumi:
 - divkāršās negācijas likums
 - komutatīvie likumi
 - asociatīvie likumus
 - distributīvie likumi, utt.
- Būla algebras loģisko operāciju likumus izmanto Būla funkciju pārveidojumiem

3.4. Galīgi automāti

- Galīgs automāts – ir objekts, kas spēj uztvert ieejas, bet izdot izejas signālus, kā arī mainīt iekšējos stāvokļus
- Automāta stāvokļus un tā signālus apraksta ar skalāriem vai vektoriāliem lielumiem
- Automāts funkcionē diskrētā laikā, kura momentus $t = 0, 1, 2, \dots$ sauc par taktīm. Mainīgais t – automāta laiks, kurā jebkura momentā automāts atrodas kādā stāvoklī $z(t)$. Z – automāta stāvokļu kopa, kura ir galīga

Galīgu automātu izmantošana (1)

- Galīgam automātam definē ieejas alfabētu X un izejas alfabētu Y
- Jebkurš ieejas vārds izsauc tāda paša garuma izejas vārda parādīšanos automātā izejā
- Automāta funkcionēšanu apraksta divas funkcijas: pāreju funkcija φ un izeju funkcija ψ

$$z(t) = \varphi[z(t-1), x(t)], \quad (1)$$

$$y(t) = \psi[z(t-1), x(t)], \quad (2)$$

t - tekošais takts,

$x(t)$ - ieejas signāls,

$z(t)$ - stāvoklis, kurā automāts pāriet tekošajā taktī,

$z(t-1)$ - stāvoklis, kurā automāts atradās iepriekšējā taktī,

$y(t)$ - izejas signāls, ko automāts izdod tekošajā taktī.

Galīgu automātu izmantošana (2)

- Automātus, kam pāreju un izeju funkcijas apraksta izteiksmes (1) un (2), sauc par Milija automātiem
- To var uzdot vai ar grafu, vai arī pāreju un izeju tabulu veidā

Ja $X=(x_1, x_2)$ – ieejas alfabēts, $Z=(z_0, z_1, z_2)$ – iekšējo stāvokļu kopa un $Y=(y_1, y_2)$ – izejas alfabēts, tad

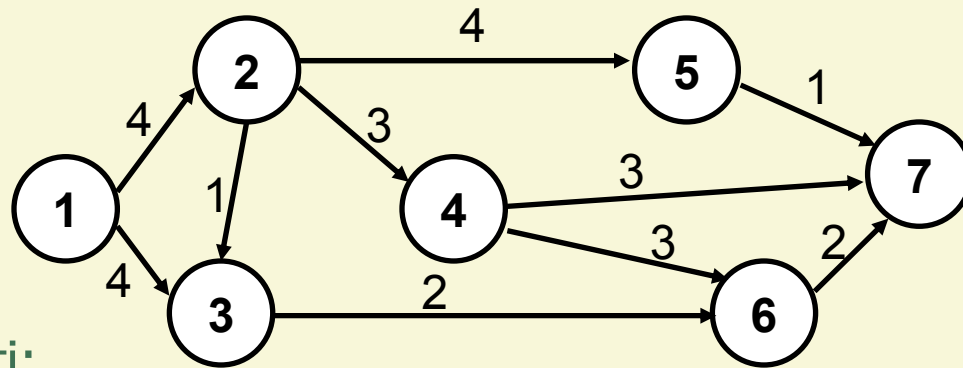
Pāreju tabula			
	z_0	z_1	z_2
x_1	z_1	z_2	z_0
x_2	z_1	z_1	z_2

Izeju tabula			
	z_0	z_1	z_2
x_1	y_1	y_2	y_1
x_2	y_2	y_2	y_1

- Galīgus automātus pielieto:
 - diskrētas darbības sistēmu un iekārtu aprakstam
 - ražošanas procesu vadības sistēmu, ekonomiskas dabas objektu modelēšanai

3.5. Tīklveida modeļi (1)

- Tīklveida modeļu pamatā ir procesu attēlošana ar tīklveida grafika palīdzību



- Tīklveida grafika elementi:
 - orientētie loki (apzīmē darbus, operācijas)
 - mezglpunkti (raksturo konkrētu notikumu iestāšanos darba izpildes rezultātā)
- Tīklveida modeļus pielieto:
 - sarežģītu tehnisku objektu projektēšana
 - liela rūpniecības un civilo objektu celtniecība
 - jaunu produkcijas veidu apgūšana

Tīklveida modeļi (2)

- Pamatdefinīcijas:

- Darbs – ir process, kura izpilde prasa darba, materiālo resursu un laika patēriņu
- Gaidīšana – ir process, kas prasa laika patēriņu
- Fiktīvs darbs – ir loģiska saite starp darbiem, kas neprasa laika un resursu patēriņu, bet parāda, ka kādu darbu var uzsākt, tikai pabeidzot citus darbus
- Ceļš - ir jebkuru darbu secība tīklveida grafikā, kur katra nākamā darba sākums sakrīt ar katra iepriekšējā darba beigu notikumu
- Pilns ceļš – ir sākas izejošā notikumā (pirms tā nav ne viena darba), bet beidzas noslēdzošā notikumā (pēc tā nenotiek ne viens darbs)
- Kritiskais ceļš – ir pilns ceļš ar maksimālo garumu L_{kr}

3.6. Petri tīkli (1)

- Petri tīkli ir matemātiskais un grafiskais rīks sistēmu modelēšanai un analīzei
- Petri tīklu attīstības pirmsākumi meklējami 1962.g. Karls Adams Petri disertācijā
- Modelējamo sistēmu veids – ir diskrētu notikumu sistēmas
- Petri tīklus pielieto:
 - konceptuālā un imitācijas modeļa veidošanā
 - modeļa validācijā un verifikācijā
 - sistēmas stāvokļu analīzē
- Piemēram, elastīgās ražošanas sistēmās, multiapstrādes sistēmās, komunikācijas protokolos

Petri tīkli (2)

Petri tīklu pāreju un pozīciju interpretācijas

Ieejas pozīcijas

Pirmsnosacījumi
Ieejas dati
Ieejas signāli

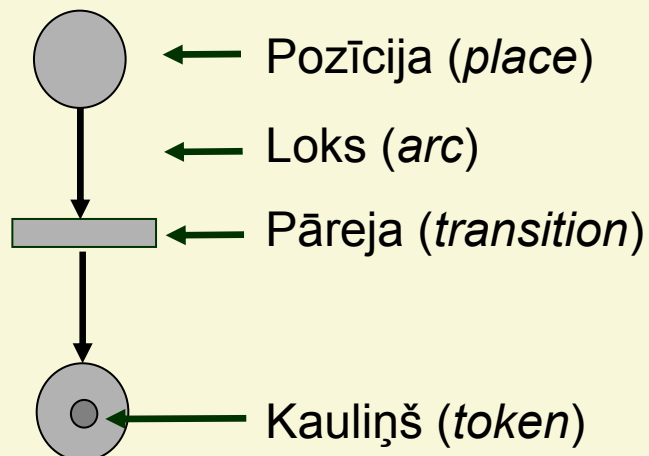
Pārejas

Notikums
Aprēķina formula
Signālu procesors

Izejas pozīcijas

Pēcnosacījumi
Izejas dati
Izejas signāli

Grafiskais modelis



Matemātiskais modelis

$PN = (P, T, A, W, M_0)$ - Petri tīkls

$P = \{p_1, p_2, p_3, \dots\}$ – galīga pozīciju kopa

$T = \{t_1, t_2, t_3, \dots\}$ – galīga pāreju kopa

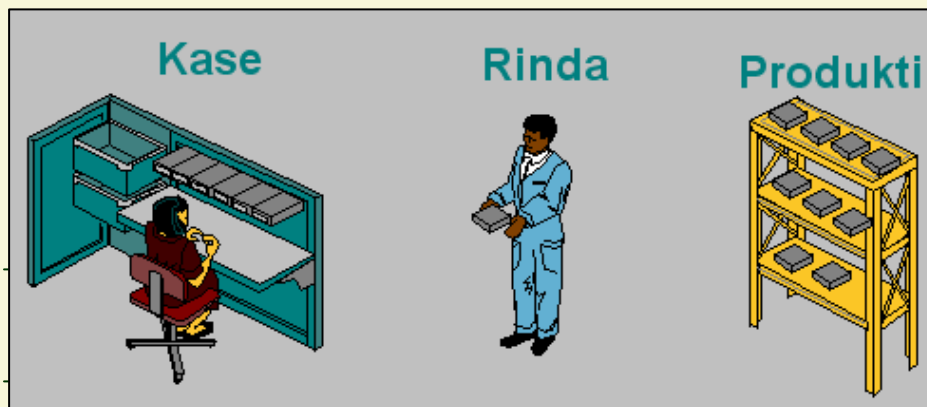
$A \subset (P \times T) \cup (T \times P)$ – loku kopa

$W = A\{1, 2, 3, \dots\}$ – loku svaru kopa

$M_0 = p_i\{1, 2, 3, \dots\} \forall p_i$ – sākuma marķējums

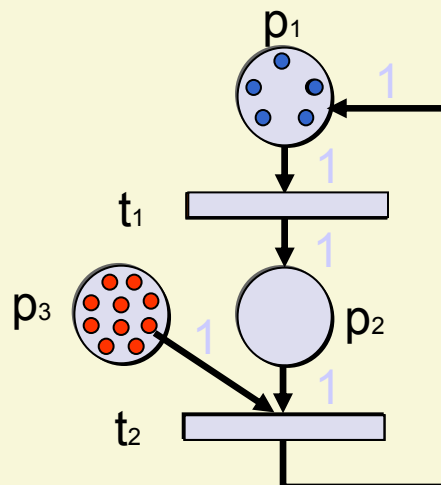
Petri tīkli: piemērs

Modelējamā sistēma: *Veikals*



Sistēmas apraksts:

Pircēji pienāk pa vienam veikalā un izvēlas produktus. Katrs pircējs var nopirkt tikai vienu produktu. Pēc tam pircējs aizņem vietu rindā un gaida apkalpošanu. Vietu skaits veikalā ir ierobežots (5 vietas), un produktu daudzums ir 10



Pozīcijas:

p1: Brīvo vietu skaits rindā
p2: Pircēju skaits rindā
p3: Produktu skaits veikalā

Pārejas:

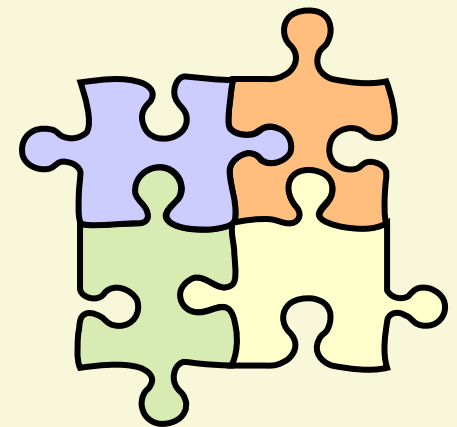
t1: Pircējs pienāk veikalā
t2: Pircējs tiek apkalpots un aiziet no veikala

Kauliņi:

● Produkti
● Pircēji

4.tēma. Statistiskās modelēšanas pamati

- 4.1. Statistiskās sistēmu modelēšanas definīcija
Piemērs. Montēšanas ceha statistiskā modelēšana
- 4.2. Montekarlo modelēšana. Integrāļa vērtības novērtēšana
- 4.3. Imitācijas modelēšanas definīcija un veidi
- 4.4. Imitācijas modelēšanas uzdevumi
- 4.5. Imitācijas modeļa struktūra
- 4.6. Laika skaitīšana imitācijas modeļos
- 4.7. Imitācijas modelēšanas stratēģijas
- 4.8. Imitācijas modelēšanas procedūra

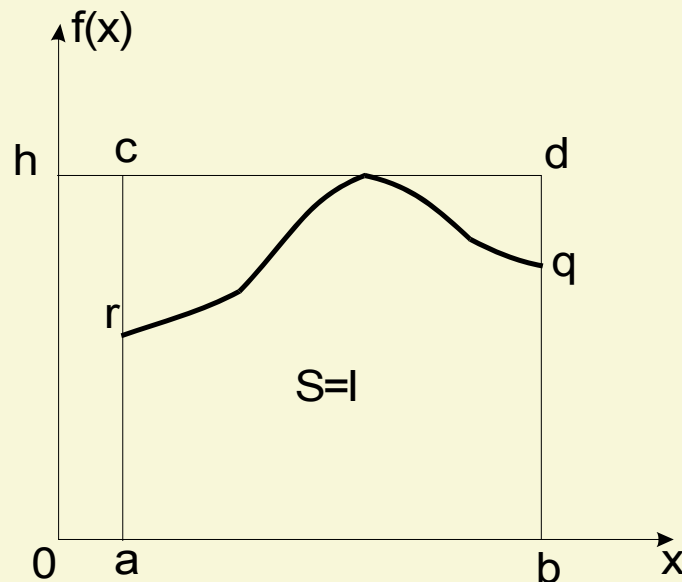


4.1. Statistiskās modelēšanas definīcija

- Statistiskā modelēšana – modelēšanas process, kas ietver sevī gadījuma skaitļu ģenerāciju, pārveidošanu un statistisko analīzi
- Gadījuma skaitlis – gadījuma lieluma vērtība ar uzdoto sadalījuma likumu
- Gadījuma skaitļu iegūšanas veidi:
 - ar datora palīdzību, izmantojot gadījuma procesus
 - ar dabiskiem gadījuma procesiem (monētas mešana)

4.2. Montekarlo modelēšana (1)

$$I = \int_a^b f(x) dx - ?$$



- Gadījuma algoritms:
 - ģenerēt N punktus $(x_i, y_i) \in abdc$
 - no tiem izvēlēt punktus, kuros $y_i \leq f(x_i)$

Montekarlo modelēšana (2)

- Integrāļa vērtības novērtēšana:

$$P = P\{(x_i, y_i) \in abqr\} = \frac{I}{(b-a) \cdot h} \approx \frac{n}{N}$$

- kur n ir punktu skaits, kuros $y_i \leq f(x_i)$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N} = P$$

$$I \approx \frac{n}{N} \cdot (b-a) \cdot h$$

x_i : \mathbf{X} - vienmērīgi sadalīts intervālā $[a, b]$

y_i : \mathbf{Y} - vienmērīgi sadalīts intervālā $[0, h]$

4.3. Imitācijas modelēšanas definīcija

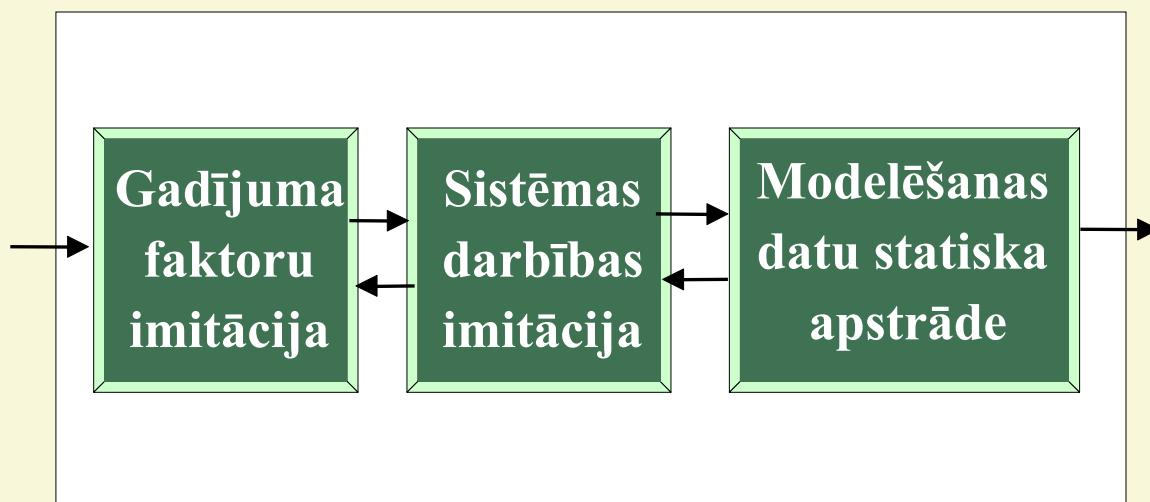
- Imitācijas modelēšana – sarežģītu sistēmu modelēšana ar datora palīdzību, imitējot šo sistēmu ārēju un iekšēju gadījuma faktoru iedarbību
- Tipiskie IM objekti:
 - informatīvās sistēmas
 - ražošanas uzņēmumi
 - transporta sistēmas
 - noliktavas
 - tirdzniecības centri
 - sabiedriskās ēdināšanas sistēmas

4.4. Imitācijas modelēšana uzdevumi

- Uzdevumu novērtēšana – MS uzvedības novērtēšana
- Novērošana – MS uzvedības padziļināta analīze
- Jūtīguma analīze – jūtīguma uz dažādu faktoru izmaiņām analīze
- Šauro vietu analīze – šauro vietu, kas būtiski samazina sistēmas darbības efektivitāti, noskaidrošana, analīze un likvidēšana
- Paredzēšana – sistēmas uzvedības prognozēšana dažādos apstākļos
- Alternatīvu salīdzināšana – vairāku MS uzbūves variantu vai dažādu MS darbības režīmu salīdzināšana un labākā varianta izvēle
- Parametru optimizācija – MS parametru optimizācija
- Metamodelēšana – analītisku sakarību izveidošana starp MS ieejas un izejas lielumiem

4.5. Imitācijas modeļa struktūra

- Imitācijas (imitējošais) modelis – algoritmisks, stohastisks modelis, kas imitē sistēmas darbības algoritmu, datorprogrammu veidā
- Imitācijas modeļa struktūra:



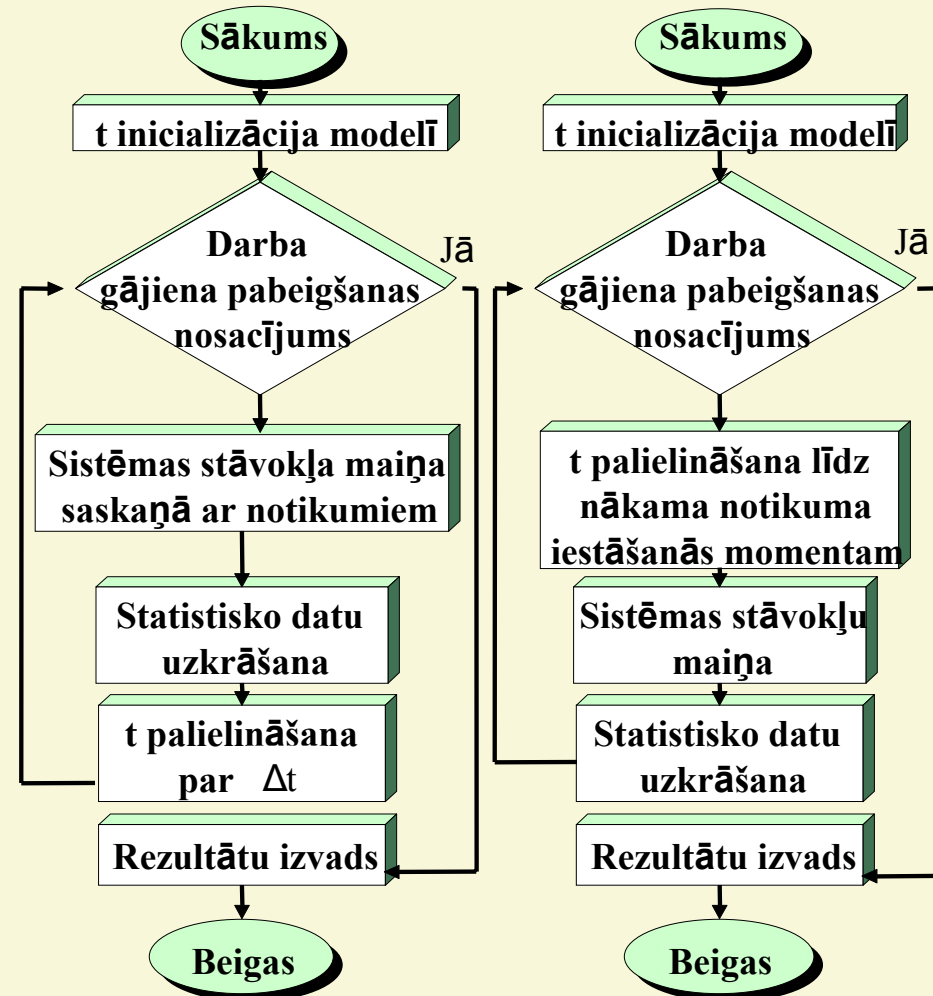
4.6. Laika skaitīšana imitācijas modeļos (1)

- Laika skaitīšanas principu attēlošana:



Laika skaitīšana imitācijas modeļos (2)

- Laika skaitīšanas algoritmi:



Laika skaitīšana imitācijas modeļos (3)

- Laika skaitīšanas principu īpašības:
 - Δt princips (*fixed time increment*)
 - + universālums
 - + vienkāršība
 - notikumu attēlošanas sagrozījums
 - mašīnlaika patēriņš
 - īpašo stāvokļu princips (*next event time increment*)
 - + precizitāte
 - + ekonomiskums

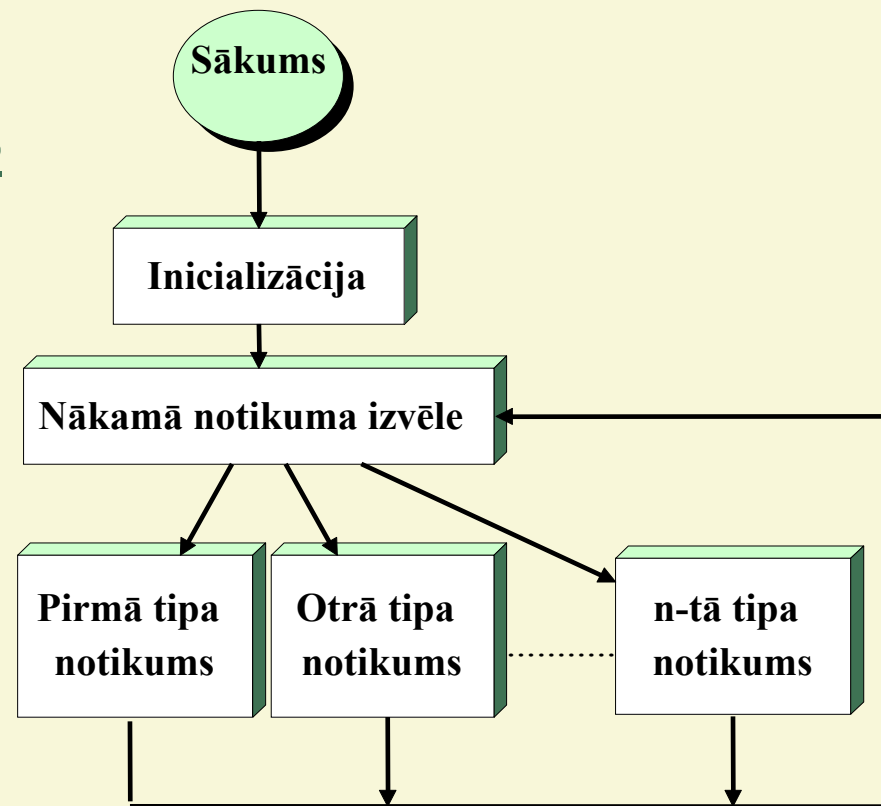
4.7. Imitācijas modelēšanas stratēģijas (1)

- Programmatūras izstādes principi:
 - notikumu plānošana (*event scheduling*)
 - procesu sadarbība (*process interaction*)
 - darbību pārskatīšana (*activity scanning*)

Modelēšanas specializētās valodas		
Event-oriented	Activity-oriented	Process-oriented
SIMSCRIPT GASP	CSL, SIMON, GSP	SIMULA, GPSS, DEMOS, SOL

Imitācijas modelēšanas stratēģijas (2)

- Uz notikumiem orientēts simulators
(*event-oriented simulator*)



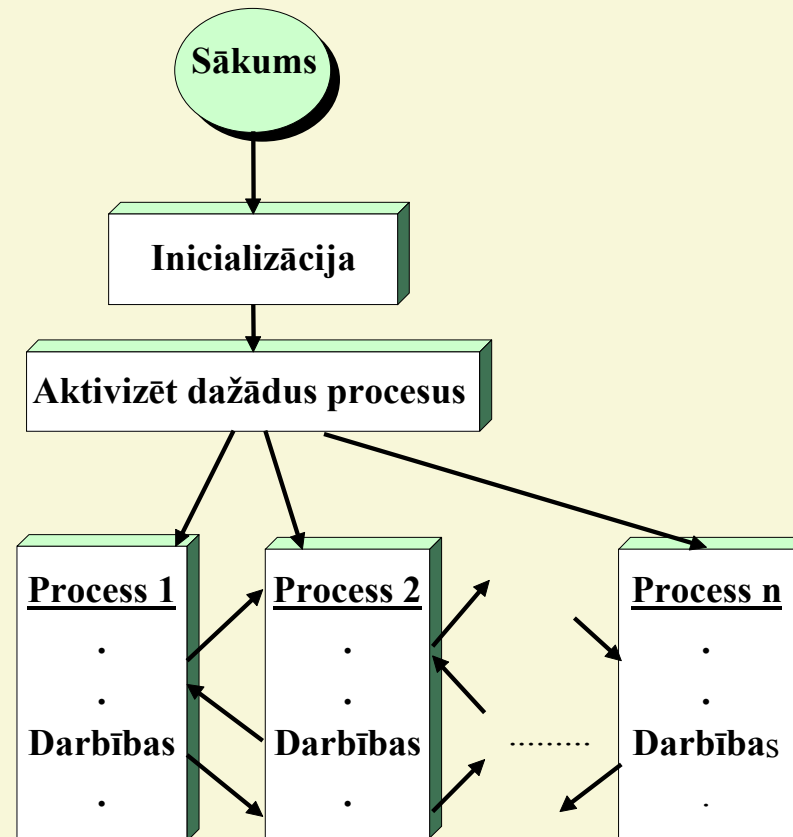
Imitācijas modelēšanas stratēģijas (3)

- Piemērs: Automašīnu mazgāšanas stacija ar vienu apkalpojošo iekārtu
- Uzdevums: novērtēt apkalpojošās iekārtas noslodzes koeficientu
- Elementi: apkalpojošā iekārta, automašīnas, stāvvietas (M vietas)
- Stāvoklis: $N(t)$ – automašīnu skaits mazgāšanas stacijā
- Modelēšanas laiks: T
- Notikumi: automašīnu piebraukšana, aizbraukšana

$$N(t) = N(t) + 1, N(t) = N(t) - 1$$
- Datu uzkrāšana: T_0 – kopējais laiks, kurā $N(t) = 0$
- Rezultāta izskaitļošana:
$$U = 1 - \frac{T_0}{T}$$

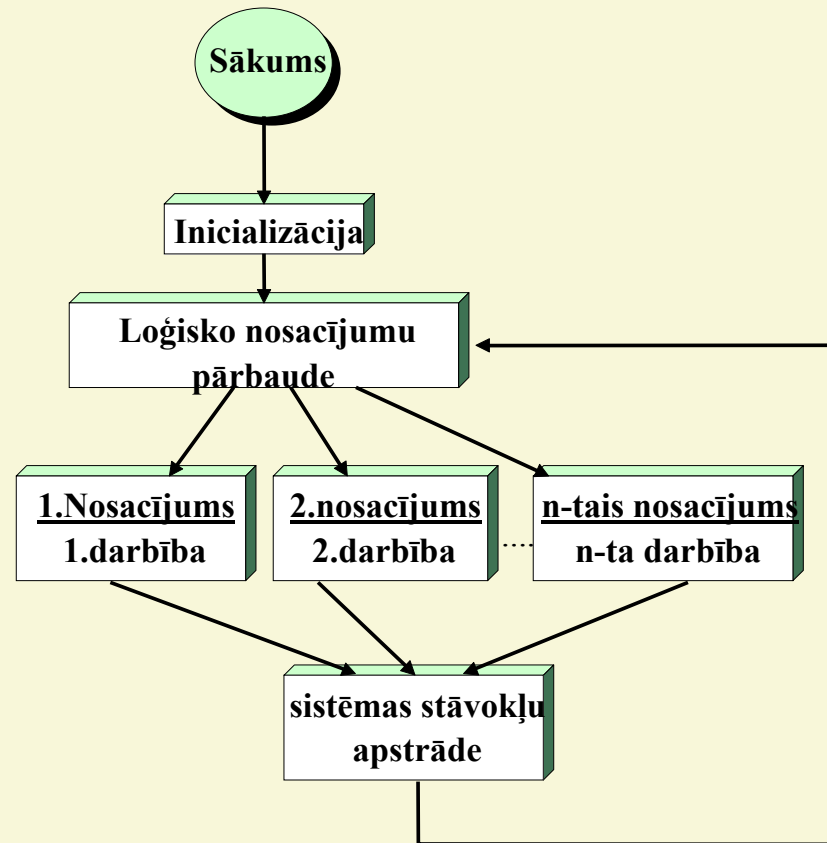
Imitācijas modelēšanas stratēģijas (4)

- Uz procesiem orientēts simulators
(*process-oriented simulator*)



Imitācijas modelēšanas stratēģijas (5)

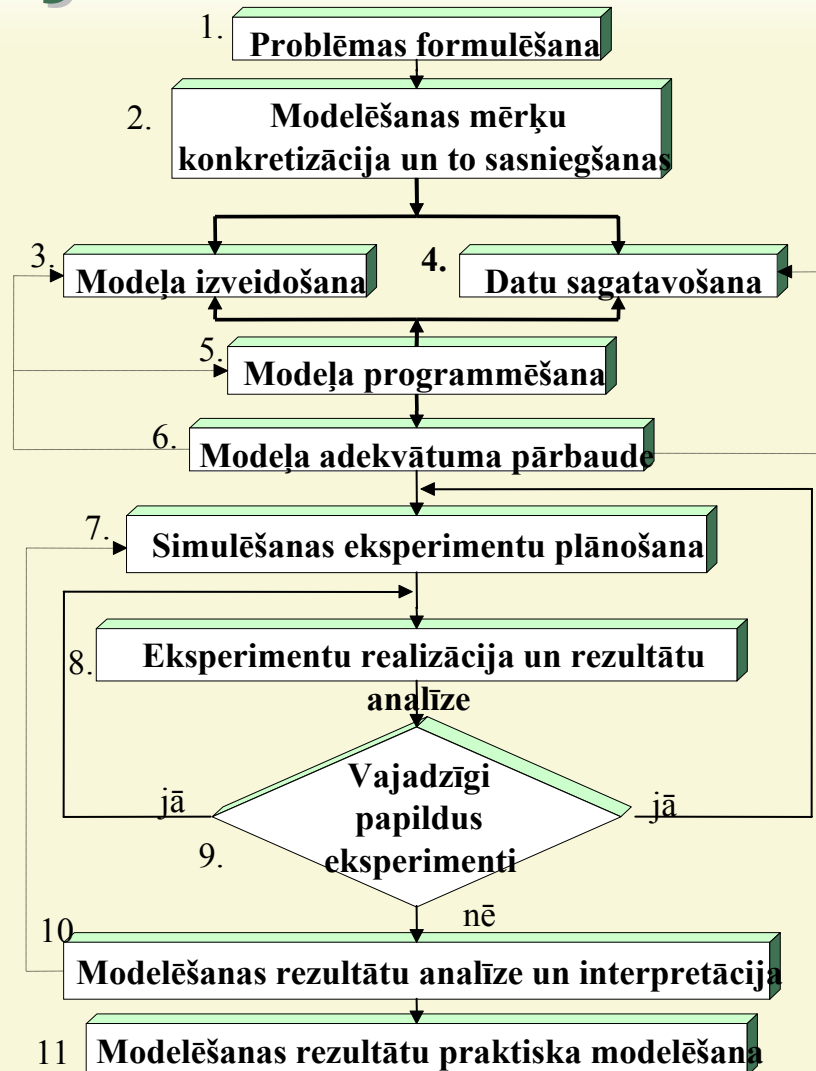
- Uz darbībām orientēts simulators
(*activity-oriented simulator*)



Imitācijas modelēšanas stratēģijas (6)

- Priekšrocības un trūkumi
 - Uz notikumiem orientēts simulators
 - + vienkārši realizēt vadības struktūru
 - sarežģīti modelēt paralēlus procesus
 - sarežģīti modelēt sarežģītus procesus
 - Uz procesiem orientēts simulators
 - + sistēmas augsta līmeņa abstrakcija modelī
 - + vienkārši realizēt savstarpēji saistītu procesu vadību
 - + vienkārši modelēt paralēlus procesus
 - Uz darbībām orientēts simulators
 - + vienkārši atrisināt paralelitātes problēmas
 - sarežģīti programmēt

4.8. Imitācijas modelēšanas procedūra



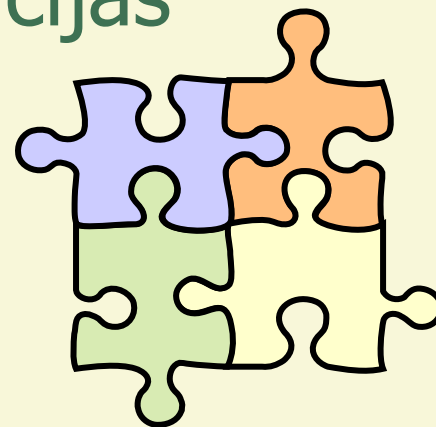
5. tēma. Modeļa adekvātums

5.1. Modeļa adekvātuma definīcija

5.2. Modeļa validācija un verifikācija

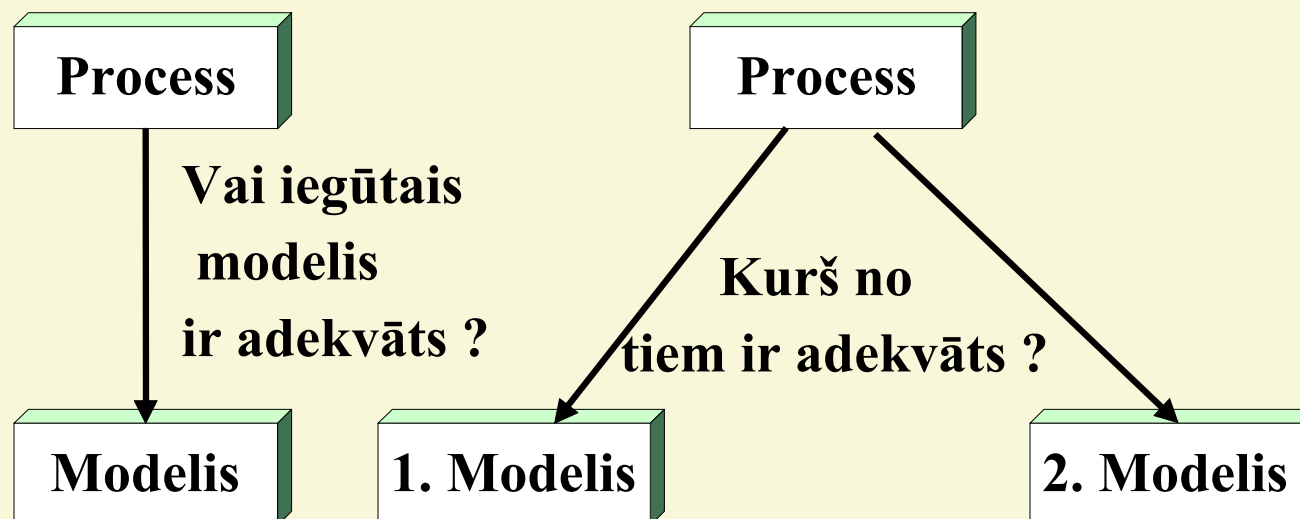
5.3. Modelēšanas un programmēšanas kļūdas

5.4. Modeļa validācijas un verifikācijas procedūras



5.1. Modeļa adekvātuma definīcija

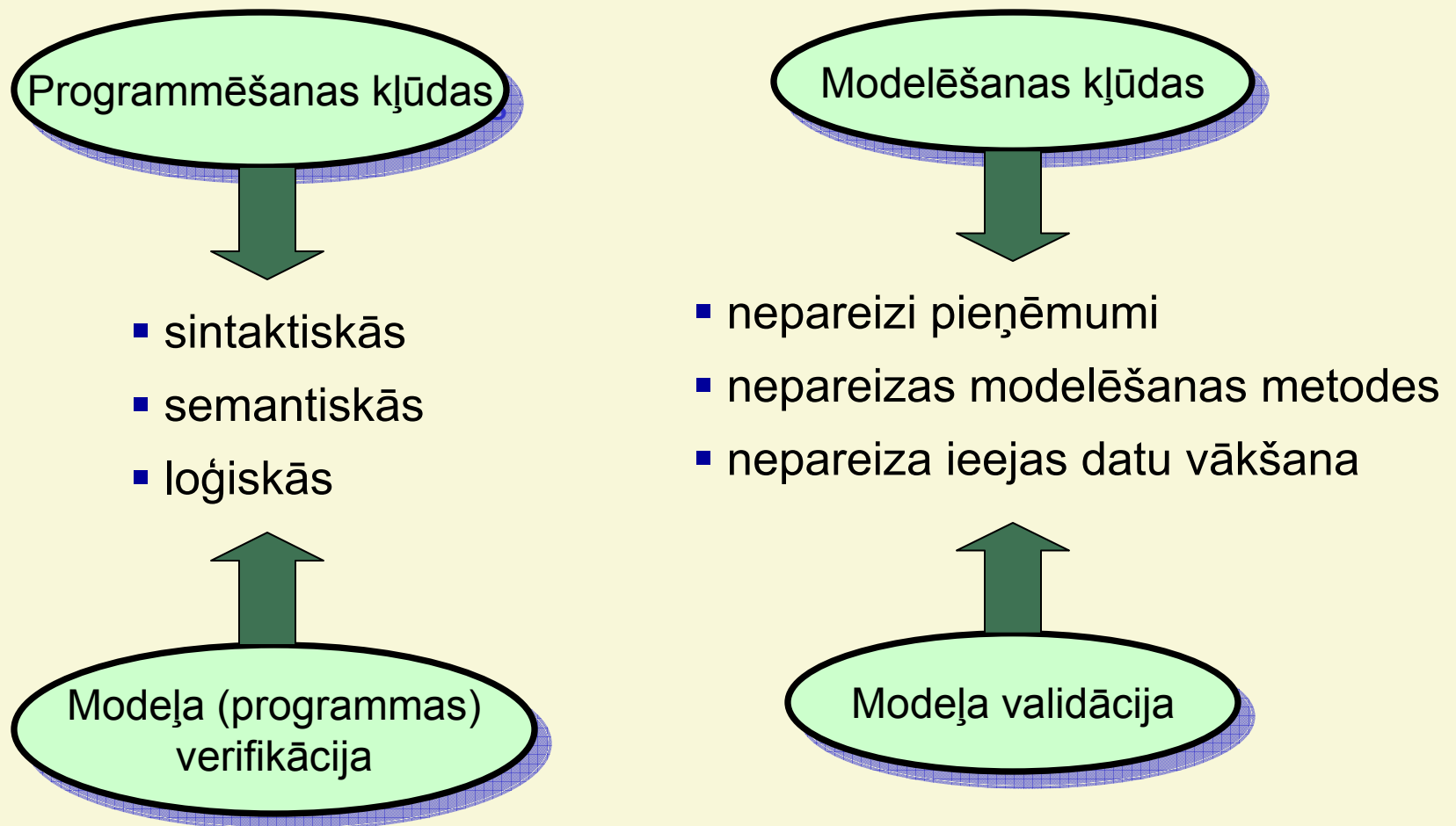
- Modelis ir adekvāts modelējamajam objektam, ja tas pietiekami pilnīgi un detalizēti apraksta visas būtiskās objekta īpašības ar precizitāti, ko nosaka mērķis



5.2. Modeļa validācija un verifikācija

- Programmas verifikācija
- Modeļa validācija
- Programmas verifikācija – noteic, vai izveidotais programmlīdzeklis uzvedas tā, kā to gaida izstrādātāji
- Modeļa validācija – noteic, vai izveidotais modelis uzvedas tā, kā to gaida lietotājs

5.3. Modelēšanas un programmēšanas kļūdas



5.4. Modeļa validācijas un verifikācijas procedūras

Verifikācija	Validācija
Testa gājienu veikšana	Salīdzina modelēšanas rezultātus ar reālo objektu
Gājienu trasēšana	Pārbauda dažādus pieņēmumus, pielietotus modelēšanā (piem., ar X^2 palīdzību)
Animācijas lietošana	Izmanto analītiskus algoritmus, lai pārbaudītu sakritības starp sistēmas elementiem
	Modelēšanas rezultātu ekspertu novērtējums

6. tēma. Imitācijas modelēšanas tehnoloģijas apgūšana ar ProModel palīdzību

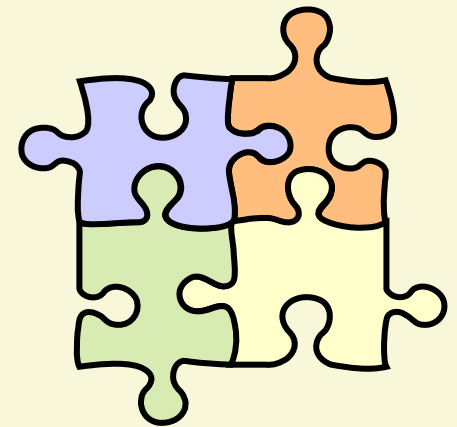
6.1. Imitācijas modelēšanas pamatposmi ProModel
vidē

6.2. Imitācijas modelēšanas programmlīdzeklis
ProModel

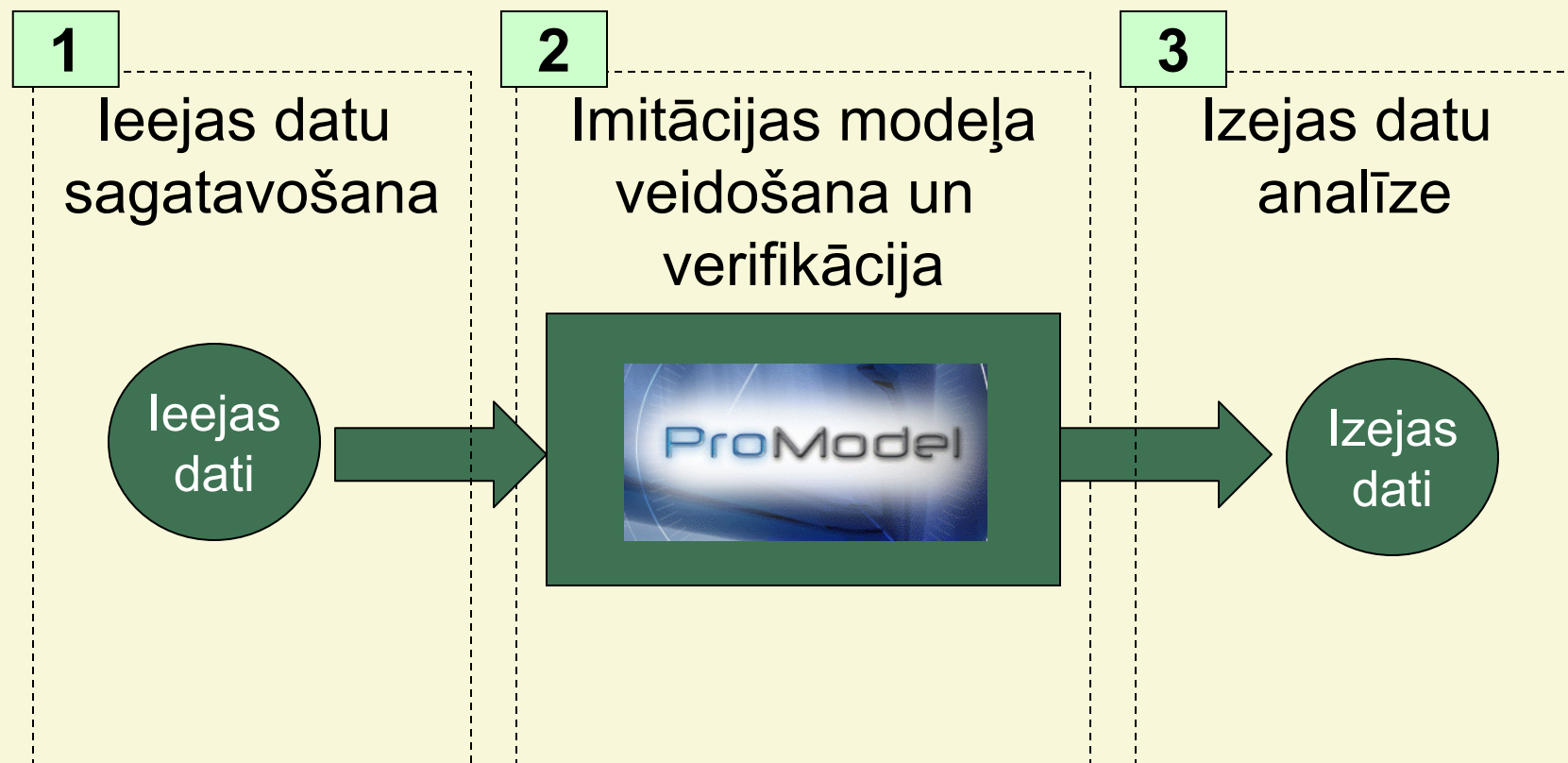
6.3. ProModel grafiskais interfeiss

6.4. ProModel failu struktūra

6.5. ProModel imitācijas modeļu piemēri



6.1. Imitācijas modelēšanas pamatposmi ProModel vidē



6.2. Imitācijas modelēšanas programmlīdzeklis ProModel

Ražošanas un loģistikas
sistēmu modelēšanas
programmlīdzeklis

Ieejas datu
statistiskā analīze
("Stat::Fit" līdzeklis)

Izejas datu
analīze un optimizācija
("SimRunner" līdzeklis)

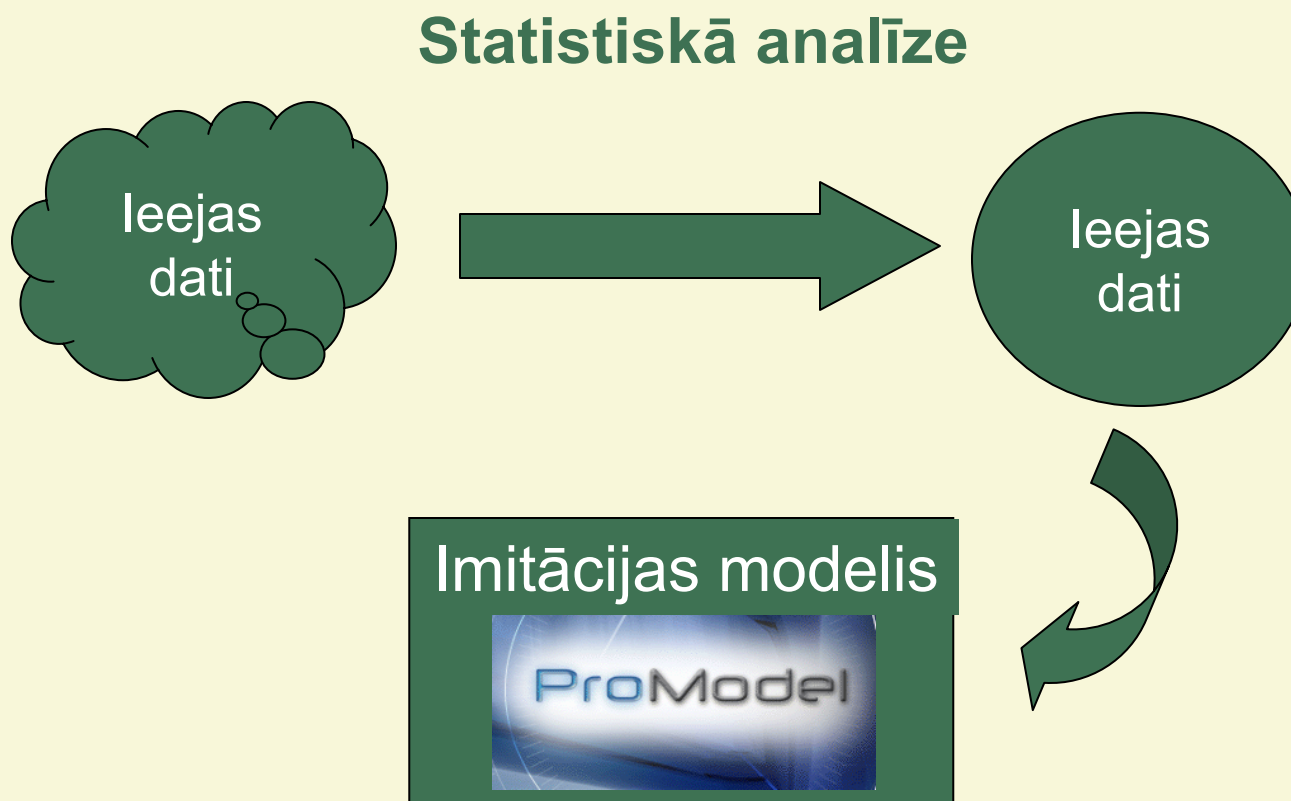
Imitācijas modelēšanas
scenāriju veidošana



Datu eksportēšana
MS Excelī

Grafiskais interfeiss

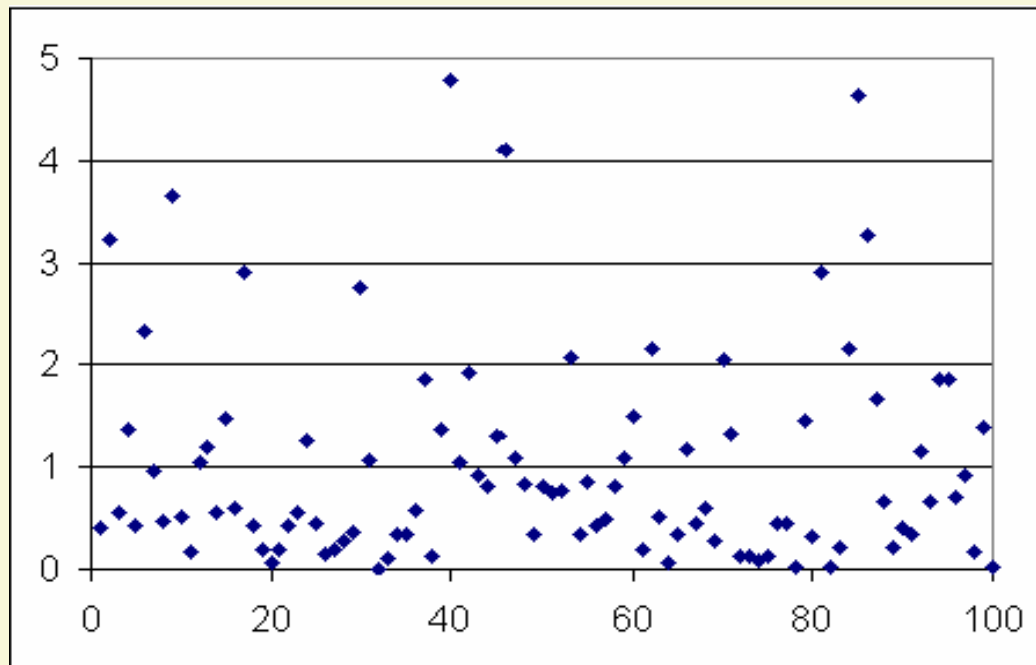
6.2.1. Ieejas datu sagatavošana (1)



Ieejas datu sagatavošana (2)

- Piemērs:

Sākotnējie ieejas dati

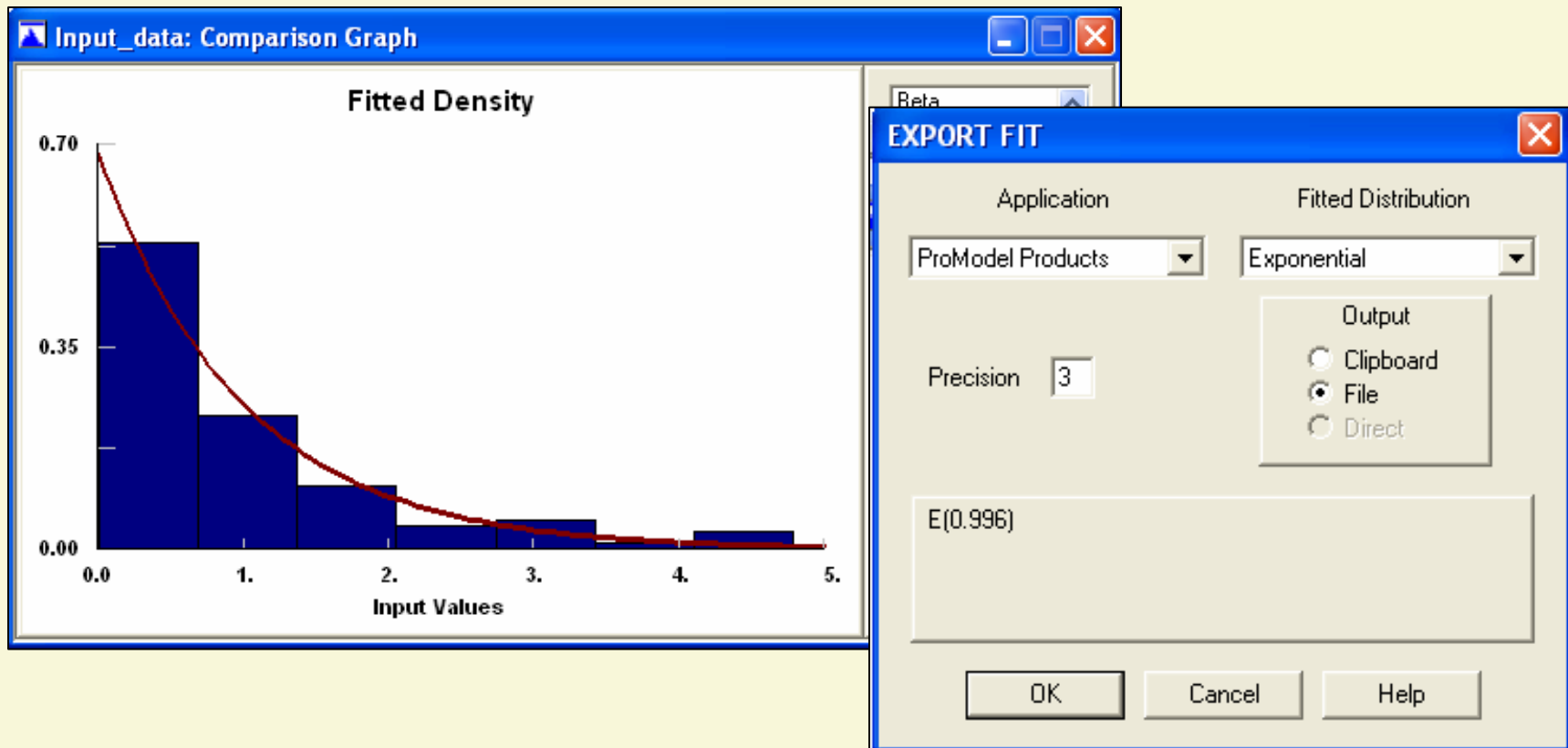


Datu statistiskās analīzes
programmlīdzeklis "Stat::Fit"

Intervals:	7	Points:	100
1			0.41621
2			3.2301
3			0.558284
4			1.37202
5			0.423022
6			2.33934
7			0.972131
8			0.476892
9			3.65855
10			0.511775
11			0.166842
12			1.05141
13			1.18821
14			0.562791
15			1.48474
16			0.592543
17			2.91552
18			0.430786
19			0.183669

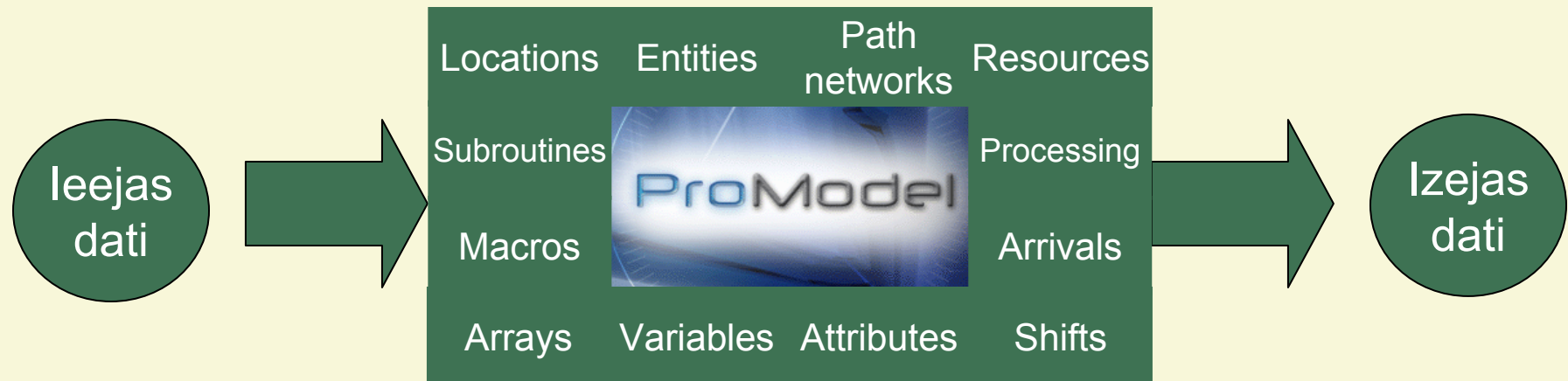
Ieejas datu sagatavošana (3)

- Piemērs (turp.):



6.2.2. Imitācijas modeļu veidošana ProModel vidē (1)

- Imitācijas modeļi tiek veidoti no atsevišķiem moduļiem



Imitācijas modeļu veidošana ProModel vidē (2)

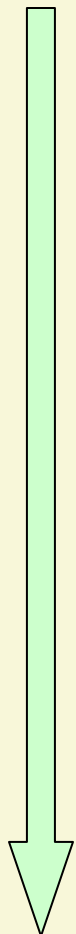
- Katrs modulis sastāv no tabulas (*edit table*) un dialogu logiem (*dialog boxes*)
- Tabula sastāv no ierakstiem, katrs no kuriem definē atsevišķo modeļa elementu
- Piemērs:

Moduļa “*Locations*” tabula

Tabulas ieraksti

Icon	Name	Cap.	Units	DTs...	Stats	Rules...	Notes...
	Ieraksts_1	inf	1	None	Time Series Oldest, FIFO		
	Ieraksts_2	2	1	None	Time Series Oldest, FIFO		
	Ieraksts_3	1	1	None	Time Series Oldest, FIFO		

Imitācijas modeļu veidošana ProModel vidē (3)

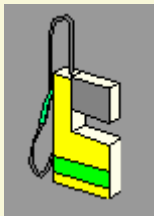


Build	Simulation	Output	Tools
Locations		Ctrl+L	
Entities		Ctrl+E	
Path Networks		Ctrl+N	
Resources		Ctrl+R	
Processing		Ctrl+P	
Arrivals		Ctrl+A	
Shifts			▶
Attributes		Ctrl+T	
Variables (global)		Ctrl+B	
Arrays		Ctrl+Y	
Macros		Ctrl+M	
Subroutines		Ctrl+S	
More Elements			▶
General Information		Ctrl+I	
Cost			
Background Graphics			▶

- Moduļi var būt aizpildīti ar nepieciešamu informāciju jebkurā secībā
- Bet secība, kurā moduļi tiek sakārtoti *Build* apakšizvēlnē, ir ieteicama

Imitācijas modeļu veidošana ProModel vidē (4)

- Izvietojumi (*Locations*) – ir noteiktās vietas modelī, kurās entītijas tiek uzkrātas vai apstrādātas
- Piemērs:




Benzīntanks

Locations [3]							
Icon	Name	Cap.	Units	DTs...	Stats	Rules...	Notes...
	Petrol_Tank	1	1	None	Time Series Oldest		

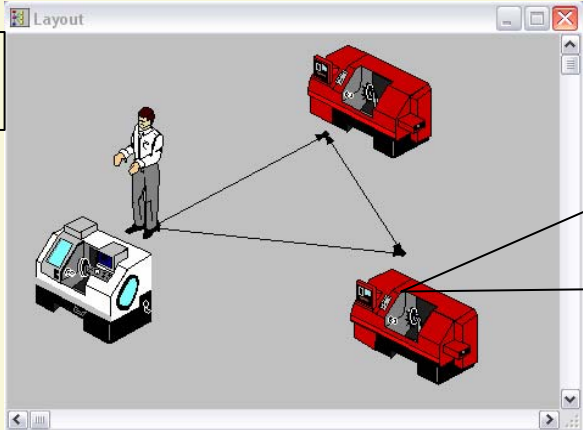
Benzīntanka kapacitāte

Imitācijas modeļu veidošana ProModel vidē (5)

- Resursi (*Resources*) – ar tiem modelē transportēšanas līdzekļus vai palīgpersonālu, kas veic noteiktas operācijas. Resursiem definē ceļu tīklus (*Path Network*), pa kuriem tie pārvietojas starp izvietojumiem
- Piemērs:



Mehāniķis



Mehāniķis pārvietojas pa ceļu tīklā "Path_network_1"

Icon	Name	Units	DTs...	Stats	Specs...	Search...	Logic...	Pts...
	Mehanikis	1	None	By Unit	Path_network_1	None	0	1

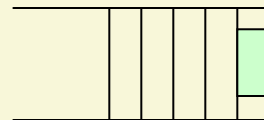
Imitācijas modeļu veidošana ProModel vidē (6)

- Procesi un Maršrutizācija (*Processing*)
 - Procesi apraksta ar entītijām izvietojumos veiktās operācijas
 - Maršrutizācija definē entītijas pārvietošanās ceļus modelī. Tie nosaka entītijas pārvietošanu no izvietojuma, kurā tika pabeigts process jeb entītijas apstrāde, uz nākamo entītijas izvietojumu (*Destination*) un nosaka pārvietošanās likumus (*Routing Rules*) jeb izvēles kritērijus starp iespējamajiem izvietojumiem

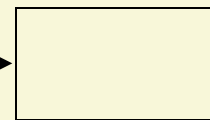
Imitācijas modeļu veidošana ProModel vidē (7)

- Piemērs:

AutoQueue



Petrol_Tank



Entītija “Auto” pārvietojas
no izvietojuma AutoQueue...

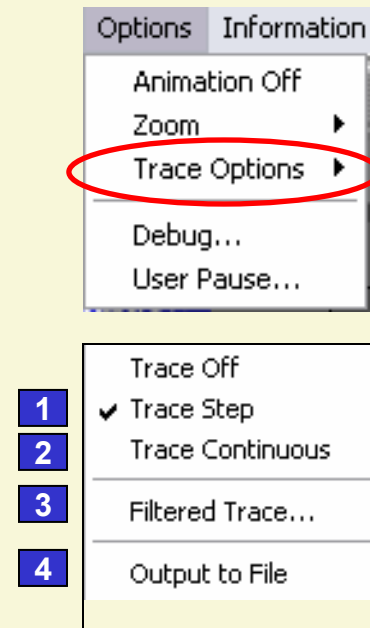
...uz izvietojumu
“Petrol_Tank”

Process [2]		
Entity...	Location...	Operation...
Auto	Arrivals	Number_entered=Number_entere...
Auto	AutoQueue	
Auto	Departure_Failed	Total_number_auto=Total_numb...
Auto	Petrol_Tank	Purchase=Petrol()
Auto	Departure_Served	Total_number_auto=Total_numb...

Routing for Auto @ AutoQueue			
Blk	Output...	Destination...	Rule...
1	Auto	Petrol_Tank	FIRST 1

6.2.3. Imitācijas modeļu verifikācija ProModel vidē (1)

- Modeļu verifikācija notiek ar trasēšanas procedūras palīdzību
- ProModel atbalsta vairākus trasēšanas veidus



Imitācijas modeļu verifikācija ProModel vidē (2)

Trasēšanas
logs

“Trace Step”
trasēšanas veids

The screenshot displays the ProModel simulation environment for a petrol station. The main window shows a 3D model of the station with a blue sign indicating prices for 95 E (0.675) and DD (0.619). A red car is at a pump, and another is in the queue. A 'Not served' counter shows 0. A 'Litres' counter shows 0. At the bottom, three counters show 'Number in queue' (1), 'Number served' (1), and 'Sold petrol, L' (30). A 'TRACE - Filter Off' window is open on the right, displaying a list of simulation events with timestamps and descriptions of the car's movement and service process.

ProModel - Lab_3_1.mod (Petrol station) - [Normal Run]

File Simulation Options Information Window Interact Help

2006.01.02 00:17

Not served
0

Petrol Station

95 E 0.675

DD 0.619

P1

Litres
0

P2

Number in queue
1

Number served
1

Sold petrol, L
30

TRACE - Filter Off

```

00:16.660 1 Auto scheduled to arrive at Arrivals.
00:16.660 Auto arrives at Arrivals.
00:16.660 For Auto at Arrivals:
00:16.660 Auto enters Arrivals.
00:16.660 Int: Number_entered = 2 [old value = 1]
00:16.660 Int: Total_number_auto = 1 [old value = 0]
00:16.660 Select route from route block #1; output que
00:16.660 For Auto at Arrivals:
00:16.660 AutoQueue is selected for routing.
00:16.660 The main entity is routed out as Auto.
00:16.660 Output is named as Auto.
00:16.660 Start move to AutoQueue.
00:16.660 For Auto at Arrivals:
00:16.660 Process completed.
00:16.660 Release the captured capacity.
00:17.160 Auto arrives at AutoQueue.
00:17.160 For Auto at AutoQueue:
00:17.160 Auto enters AutoQueue.
00:17.160 Start moving for 0.000 Min.
00:17.160 Select route from route block #1; output que
00:17.160 For Auto at AutoQueue:
00:17.160 Petrol_Tank is selected for routing.
00:17.160 The main entity is routed out as Auto.
00:17.160 Output is named as Auto.
00:17.160 Start move to Petrol_Tank.
00:17.160 Auto arrives at Petrol_Tank.
00:17.160 Petrol_Tank.1 is selected.
00:17.160 For Auto at Petrol_Tank.1:
  
```

6.2.4. Izejas datu apskats un analīze (1)

- Imitācijas modeļu izejas dati tiek automātiski eksportēti datu redaktorā "Output Viewer"
- Dati no "Output Viewer" var būt tālāk eksportēti MS Excelī detalizētai analīzei

lab_2_1.idb - Output Viewer 3DR - [Report for lab_2_1]

File View Tools Window Help

Views: <undefined view>

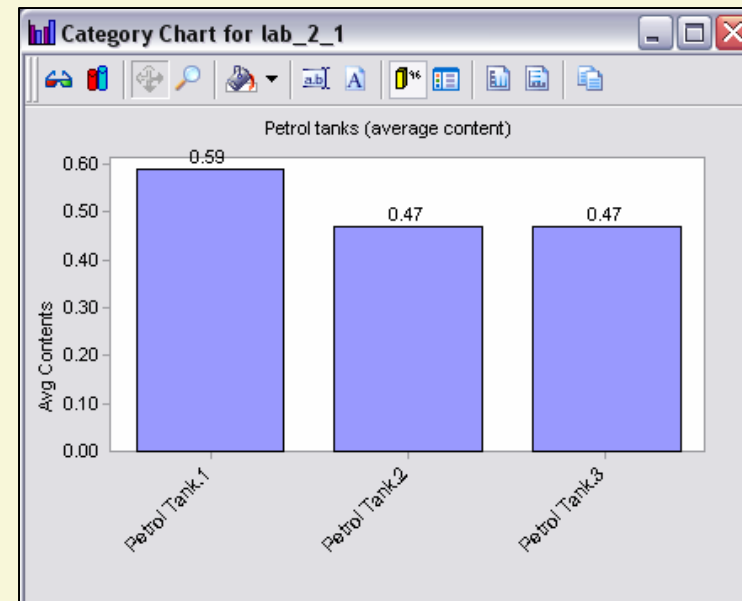
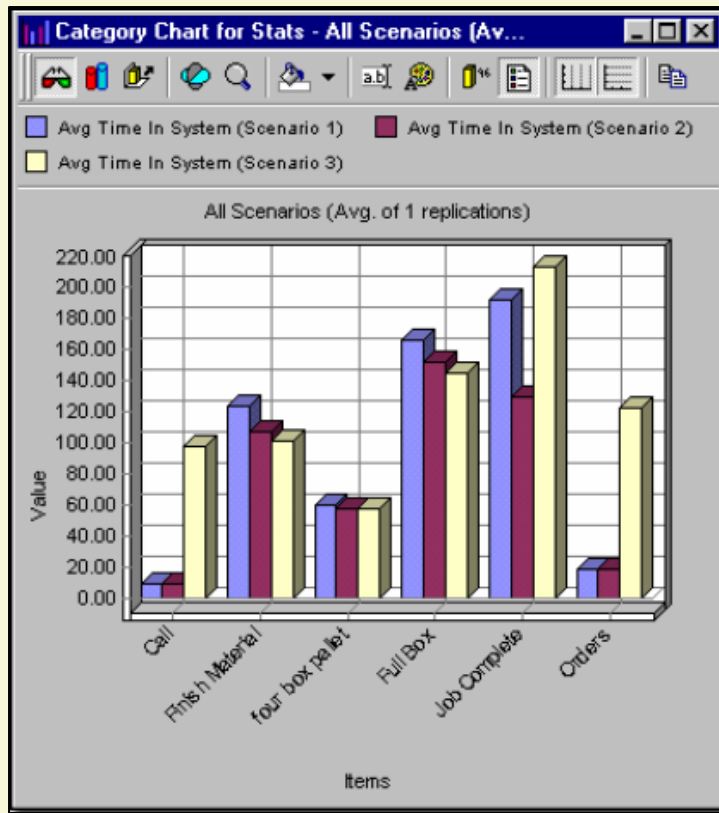
General Locations Location States Multi Location States Single/Tank Location Setup Resources Resource States Node Entries Failed Arrivals

Locations for lab_2_1

Name	Scheduled Time (MIN)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
AutoQueue	1440.00	4.00	1012.00	0.02	0.02	1.00	0.00	0.38
Petrol Tank.1	1440.00	1.00	391.00	2.17	0.59	1.00	0.00	58.97
Petrol Tank.2	1440.00	1.00	312.00	2.17	0.47	1.00	0.00	47.04
Petrol Tank.3	1440.00	1.00	309.00	2.19	0.47	1.00	0.00	46.89
Petrol Tank	4320.00	3.00	1012.00	2.18	0.51	3.00	0.00	50.97

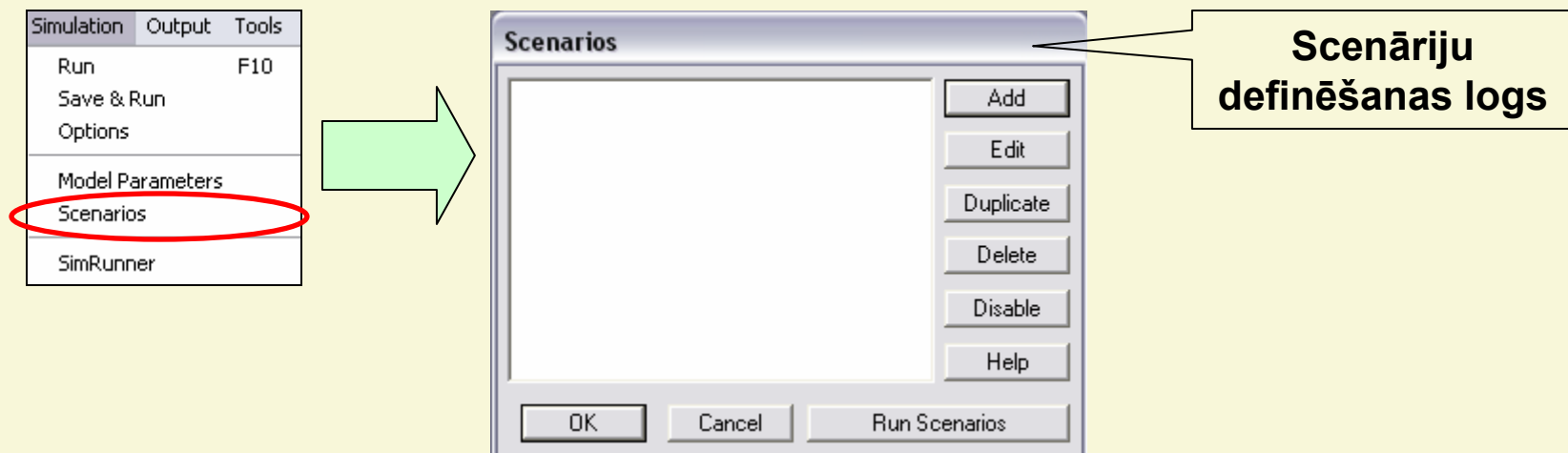
Izejas datu apskats un analīze (2)

- Datu redaktors "Output Viewer" atbalsta grafisko analīzi



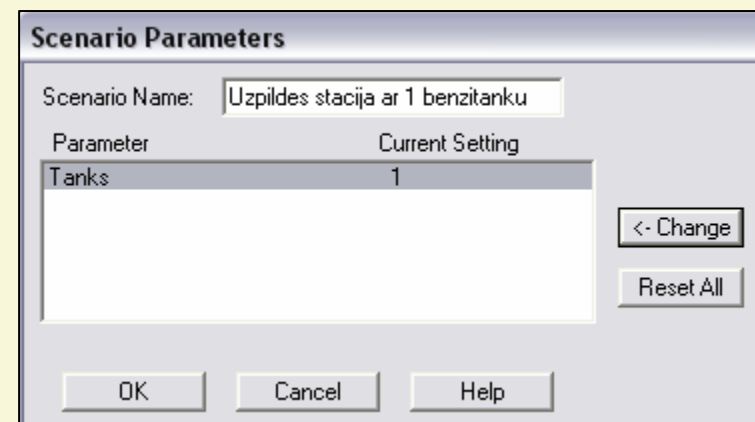
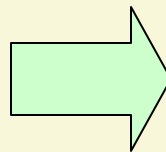
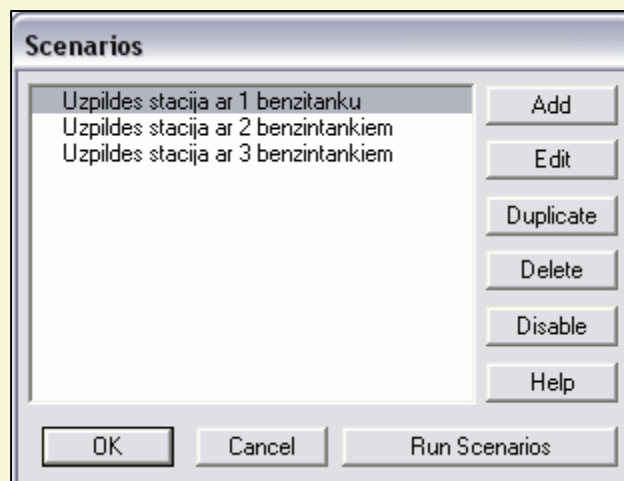
6.2.5. Imitācijas modelēšanas scenāriju veidošana (1)

- Imitācijas modelēšanas scenārijs ir modeļa parametru kopa, kurā katram parametram tiek piešķirta noteiktā vērtība



Imitācijas modelēšanas scenāriju veidošana (2)

- Piemērs:
 - trīs scenāriji
 1. uzpildes stacija ar 1 benzīntanku
 2. uzpildes stacija ar 2 benzīntankiem
 3. uzpildes stacija ar 3 benzīntankiem

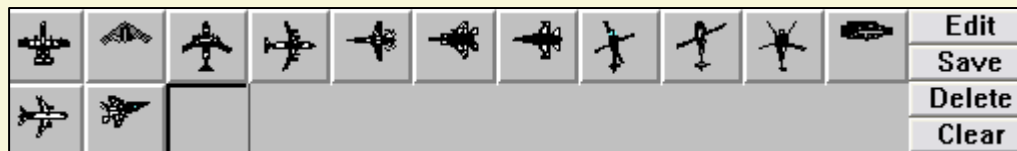


6.3. ProModel grafiskais interfeiss

- Piemēri:



Transpt.glb



Aircraft.glb

6.4. ProModel failu struktūra

- Modeļa fails:
 - *.mod - imitācijas modeļa fails
- Ieejas faili:
 - *.xls – masīvu fails
 - *.glb – grafiskās bibliotēkas fails
 - *.sfp – statistisko datu fails
 - *.sft – darba maiņu fails
- Izejas faili:
 - *.idb – izejas datu fails

Piemērs 1. Klienta-servera imitācijas modelis

Client-Server Simulation Model

Statistics

Messages in Queue

Station 1: 0

Station 2: 3

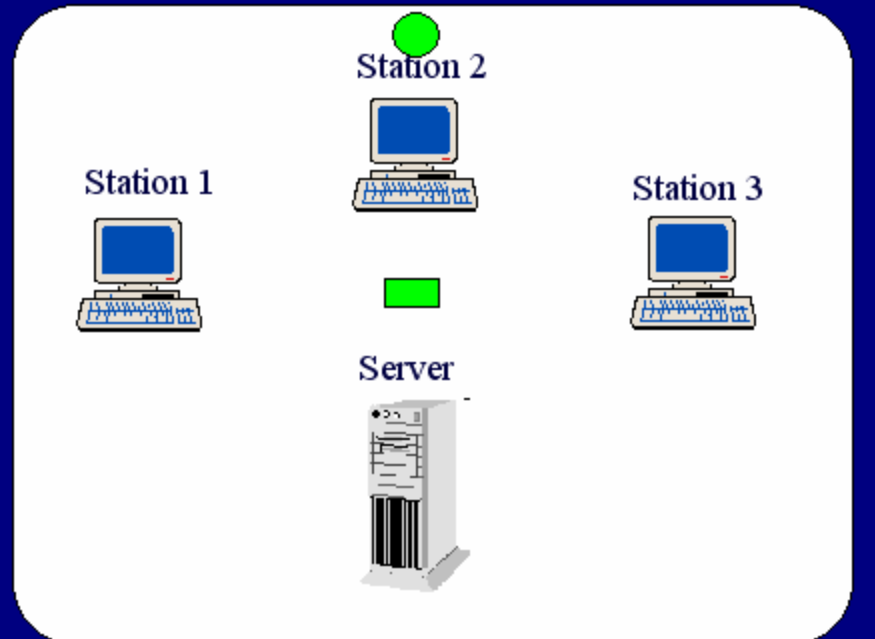
Station 3: 5

Polling Cycles

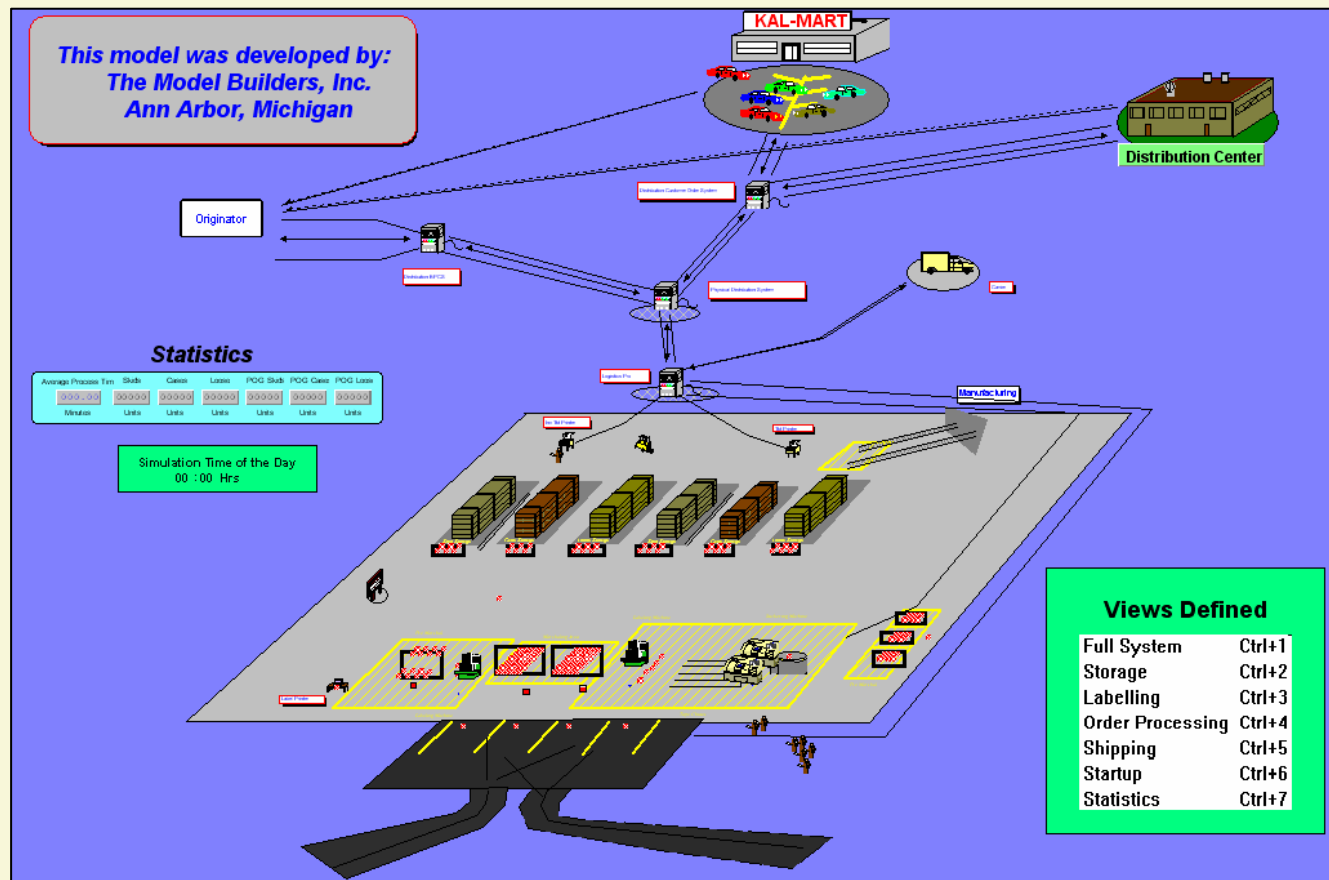
Cycle 1: 9

Cycle 2: 5

Cycle 3: 10

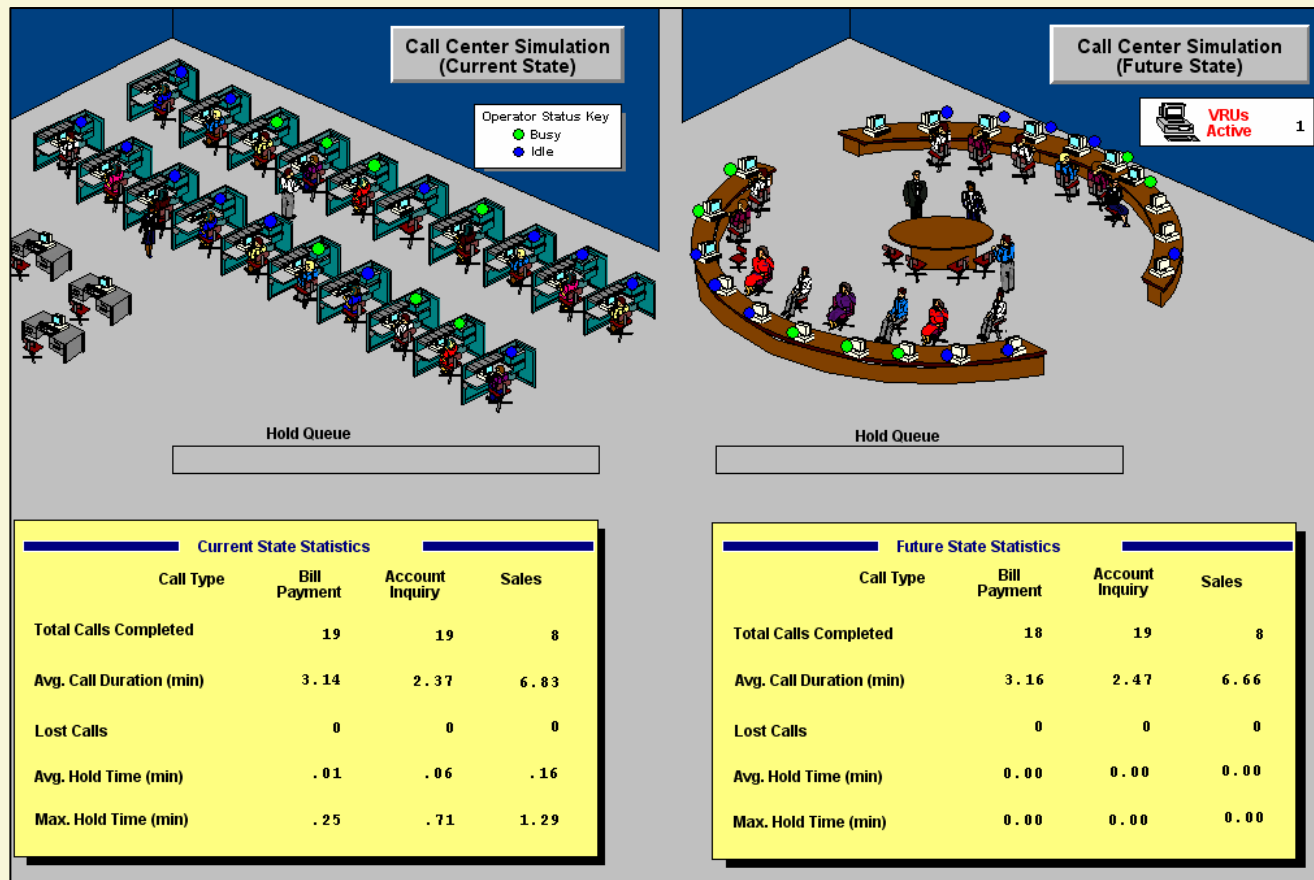


Piemērs 2. Sadales centra imitācijas modelis



ProModel demo modelis

Piemērs 3. Klientu apkalpošanas imitācijas modelis



ProModel demo modelis