



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

VERSLO VADYBOS FAKULTETAS

VERSLO TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

Donatas Bernatoniš

**NEAPIBRĖŽTUMO EFEKTO TIEKIMO GRANDINĖSE MAŽINIMO
MODELIAVIMAS**

**REDUCTION OF THE BULLWHIP EFFECT IN THE SUPPLY CHAINS
USING SIMULATION**

Baigiamasis magistro darbas

Inžinerinės ekonomikos ir vadybos studijų programa

Elektroninio verslo vadybos specializacija

Vadybos ir administravimo mokslo kryptis

Vadovas prof. habil. dr. N. Paliulis

Vilnius, 2005

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

VERSLO VADYBOS FAKULTETAS

VERSLO TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(parašas)

(vardas, pavardė)

2005-_____

Donatas Bernatoniš

**NEAPIBRĖŽTUMO EFEKTO TIEKIMO GRANDINĖSE MAŽINIMO
MODELIAVIMAS**

**REDUCTION OF THE BULLWHIP EFFECT IN THE SUPPLY CHAINS
USING SIMULATION**

Baigiamasis magistro projektas

Inžinerinės ekonomikos ir vadybos studijų programa

Elektroninio verslo vadybos specializacija

Vadybos ir administravimo mokslo kryptis

Vadovas

(Moksl. laipsnis, vardas pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis, vardas pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis, vardas pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2005

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Verslo vadybos fakultetas
Verslo technologijų katedra

ISBN
Egz. sk.
Data 2005-06-
ISSN

Magistro tezės
Neapibrėžtumo efekto tiekimo grandinėse mažinimo modeliavimas
Autorius: Donatas Bernatonis

Kalba
X lietuvių

Šiame darbe buvo nagrinėtas neapibrėžtumo efektas didinantis įmonių išlaidas ir mažinantis konkurencingumą ir analizuotos šio efekto mažinimo tiekimo grandinėse priemonių efektyvumas. Modeliavimas buvo atliktas panaudojant Rockwell Arena modeliavimo programą. Iš viso buvo sukurti 8 imitaciniai modeliai panaudojant dvi skirtingas neapibrėžtumo mažinimo priemones (partijų panaikinimas ir informacijos pateikimas visiems grandinės dalyviams) ir du skirtingus užsakymų pasiskirstymo dėsnius (normalusis ir eksponentinis užsakymų pasiskirstymas). Modeliuojamą tiekimo grandinę sudarė dvi grupės vartotojų, du paskirstytojai, vienas gamintojas ir du tiekėjai, gaminantys skirtingus komponentus. Informacijos apdorojimo, prekių pristatymo, gamybos trukmės buvo atsitiktiniai dydžiai, pasiskirstę pagal atitinkamus dėsnius. Analizė atlikta pagal užsakymų ir sandėlio lygio vidurkius ir standartinius nuokrypius. Tyrimai parodė, kad efektyviausia priemonė yra informacijos pateikimas visiems grandinės dalyviams. Šios priemonės pagalba tiekėjų sandėlio lygio vidurkis buvo sumažintas net 90%. Be to neapibrėžtumo mažinimo priemonės tuo efektyvesnės, kuo didesnis galutinių vartotojų užsakymų svyravimas.

Šis darbas yra pirminis tiekimo grandinės modelis. Tęsiant neapibrėžtumo efekto tiekimo grandinėse analizę, autorius siūlo išanalizuoti kitų užsakymų pasiskirstymo dėsnių ir kitų stochastinių modelio parametrų įtaką neapibrėžtumo efektui ir jo mažinimo priemonių efektyvumui, išanalizuoti kitas efekto mažinimo priemones, kitokias tiekimo grandinės struktūras, atlikti matematinius paskaičiavimus.

Reikšminiai žodžiai: tiekimo grandinė, neapibrėžtumo efektas, informacijos pateikimas, imitacinis modeliavimas.

Vilnius Gediminas technical university
Business management faculty
Business technologies department

ISBN
ISSN
No. cop.
Date 2005-06-

Master's thesis
Reduction of the bullwhip effect in the supply chains using simulation
Author: Donatas Bernatoniš

Language
X lithuanian

In this work bullwhip effect in the supply chains was studied and reduction of the effect was analyzed. Simulation was done with Rockwell Arena software. Eight different models were created using two different bullwhip reduction schemes (batching removal and information sharing) with two different ordering distributions (normal and exponential distribution). Analyzed supply chain consisted of two groups of customers, two distributors, one manufacturer and two suppliers, producing different components for manufacturer. Information processing, lead and manufacturing times were stochastic values. Analysis is based on the mean value and standard deviation of orders and inventory level. Research showed, that most effective bullwhip reduction scheme is information sharing which let to reduce supplier's inventory level up to 90%. Also effect reduction schemes are more effective when order variability is greater.

This work is primary supply chain model. Therefore author offers to continue this work and do next analysis: to analyze other order distributions' and other stochastic model variables influence to bullwhip reduction schemes, to analyze other supply chain structures, to do mathematical evaluation.

Key words: supply chain, bullwhip effect, information sharing, simulation.

Turinys

Lentelių ir paveikslų sąrašas	7
1 Įžanga	9
2 Mokslinės literatūros apžvalga.....	10
3 Tiekimo grandinė ir jos valdymas.....	13
3.1 Tiekimo grandinė	13
3.2 Tiekimo grandinės struktūra ir jos dalyviai	16
3.3 E-verslo įtaka tiekimo grandinei	19
4 Neapibrėžtumas tiekimo grandinėse	21
4.1 Neapibrėžtumo efekto priežastys	22
4.1.1 Paklausos prognozavimas	23
4.1.2 Užsakymas partijomis	23
4.1.3 Kainų svyravimai	24
4.1.4 Aprūpinimo politika prekių stygiaus atveju.....	24
4.1.5 Žmogaus elgsenos įtaka neapibrėžtumo efektui	25
4.2 Neapibrėžtumo efekto mažinimo būdai	25
4.3 IT įtaka mažinant neapibrėžtumo efektą.....	27
5 Tiekimo grandinės imitacinis modeliavimas	29
5.1 Tiekimo grandinės modelis.....	29
5.1.1 Du skirtingi tiekimo grandinės modeliai.....	31
5.1.2 Vartotojų užsakymų pasiskirstymo dėsniai.....	45
5.1.3 Modelių kintamieji.....	46
6 Tyrimo rezultatai.....	47
6.1 Pradiniai nustatymai.....	47
6.2 Neapibrėžtumo efektas ir jo mastai.....	51
6.3 Neapibrėžtumo efekto mažinimo priemonės ir jų efektyvumas	55
7 Išvados	66
8 Literatūra	68
9 Priedai	72
9.1 Imitaciniai Arena modeliai.....	72
9.2 Pirminiai rezultatai	72
9.2.1 Eksponentinis užsakymų pasiskirstymas	73
9.2.2 Normalusis užsakymų pasiskirstymas	77
9.3 Tyrimo rezultatai.....	81

Lentelių ir paveikslų sąrašas

6.1 lentelė. Kintamųjų pradinės reikšmės.....	47
6.2 lentelė. Vartotojų užsakymų pasiskirstymas.....	48
6.3 lentelė. Prekių skaičiaus užsakymuose pasiskirstymas.....	48
6.4 lentelė. Kitų modelio nustatymų reikšmės.....	49
6.5 lentelė. Užsakymų tiekėjams palyginimas esant skirtingiems užsakymų pasiskirstymams (eksponentinio pasiskirstymo modelių pranašumas).....	63
6.6 lentelė. Sandėlio lygių palyginimas esant skirtingiems užsakymų pasiskirstymams (eksponentinio pasiskirstymo modelių pranašumas).....	63
1 pav. Srautai tiekimo grandinėje.....	15
2 pav. Paprasčiausia tiekimo grandinė.....	15
3 pav. Tiekimo grandinės struktūra.....	17
4 pav. Virtuali tiekimo grandinė užsakymui įvykdyti.....	18
5 pav. Penkios skirtingos e-verslo strategijos	20
6 pav. Užsakymų kintamumo lygio kitimas tiekimo grandinėje.....	21
7 pav. Modeliuojama tiekimo grandinė.....	28
8 pav. a ir b tiekimo grandinės modeliai.....	29
9 pav. c ir d tiekimo grandinės modeliai.....	30
10 pav. Proceso procesas (a) ir procesą sudarantys blokai (b).....	30
11 pav. Tiekimo grandinės procesų modelis Arena programoje.....	31
12 pav. Tiekimo grandinės blokų modelis Arena programoje.....	32
13 pav. Vartotojų grupės struktūra procesų modelyje.....	33
14 pav. Vartotojų grupės struktūra blokų modelyje.....	33
15 pav. Eksponentinio pasiskirstymo dėsnio tikimybės tankio funkcija ($EXPO(\beta)$).....	34
16 pav. Normaliojo pasiskirstymo dėsnio tikimybės tankio funkcija ($NORM(\mu, \sigma)$).....	34
17 pav. Puasoninis pasiskirstymo dėsnis ($POIS(\lambda)$).....	34
18 pav. Tikimybinis vartotojų užsakymų pasiskirstymas.....	35
19 pav. Paskirstytojo struktūra procesų modelyje.....	35
20 pav. Paskirstytojo struktūra blokų modelyje.....	35
21 pav. Gamintojo struktūra procesų modelyje.....	38
22 pav. Gamintojo struktūra blokų modelyje.....	38
23 pav. Gamybos procesas procesų modelyje.....	40
24 pav. Gamybos procesas blokų modelyje.....	41
25 pav. Tiekėjo struktūra procesų modelyje.....	43

26 pav. Tiekėjo struktūra blokų modelyje.....	43
27 pav. Pastovaus pasiskirstymo dėsnio tikimybės tankio funkcija (UNIF(a, b)).....	49
28 pav. Užsakymų svyravimai esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui.....	51
29 pav. Sandėlio lygio svyravimai esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui.....	51
30 pav. Užsakymų svyravimai esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui.....	51
31 pav. Sandėlio lygio svyravimai esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui.....	52
32 pav. Užsakymų pasiskirstymas laike esant eksponentiniam vartotojų užsakymų pasiskirstymui.....	52
33 pav. Užsakymų pasiskirstymas laike esant normaliajam vartotojų užsakymų pasiskirstymui.....	53
34 pav. Sandėlio lygio pasiskirstymas laike esant eksponentiniam vartotojų užsakymų pasiskirstymui.....	53
35 pav. Sandėlio lygio pasiskirstymas laike esant normaliajam vartotojų užsakymų pasiskirstymui.....	54
36 pav. Užsakymų standartinis nuokrypis esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui.....	55
37 pav. Užsakymų standartinis nuokrypis esant normaliam užsakymų pasiskirstymui.....	55
38 pav. Sandėlio vidurkiai esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui.....	56
39 pav. Sandėlio lygio standartiniai nuokrypiai esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui.....	56
40 pav. Sandėlio vidurkiai esant normaliam užsakymų pasiskirstymui.....	57
41 pav. Sandėlio lygio standartiniai nuokrypiai esant normaliam užsakymų pasiskirstymui.....	57
42 pav. Sandėlio lygio pasiskirstymas laike esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui.....	58
43 pav. Sandėlio lygio pasiskirstymas laike esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui.....	59
44 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius pirminiame modelyje esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui.....	60
45 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius informacijos pateikimo modelyje esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui.....	60
46 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius pirminiame modelyje esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui.....	60
47 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius informacijos pateikimo modelyje esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui.....	61
48 pav. Sandėlio vidurkio pokyčiai esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui.....	61
49 pav. Sandėlio vidurkio pokyčiai esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui.....	62

1 Įžanga

Industrinis ir ekonominis žemėlapis išsivysčiusiame pasaulyje smarkiai transformuojasi [30]. Žinios, informaciniai gebėjimai, išskirtinė kompetencija, lankstūs ir dinamiški veiklos modeliai, kūrybiškas technologijų taikymas verslo sprendimams, nuolatinis nepasitenkinimas ir tobulėjimas — tai tik kelios pagrindinės sėkmės prielaidos žinių ekonomikos sąlygomis. Naujos technologijos radikaliam pakeitė tiek verslo, tiek kitų socialinių gyvenimų sričių veiklos metodus. Neatsitiktinai šiandien kalbame apie informacinės, arba žinių visuomenės formavimąsi, nes daugelis pagrindinių tiek verslo, tiek visuomenės gyvenimo veiklų vyksta būtent elektroninėje terpėje. Verslo sektorius ryžtingiausiai įžengė į elektroninę terpę ir toliau nuolat auga joje, tačiau lygiai taip pat sparčiai ten persikelia politika, viešasis valdymas, vyriausybė, medicina, ugdymas ir kitos visuomenės gyvenimo sritys.

Todėl gebėjimas kurti ir veikti elektroninėje terpėje tampa būtina egzistavimo sąlyga šiuolaikinėje ekonomikoje.

Globalios rinkos kompleksinėje situacijoje ir verslo tarpusavio ryšiuose, greitis ir lankstumas yra pagrindinės šiuolaikinio verslo konkurencingumo priežastys. Įmonei tapti greičiau ir lanksčiau reaguojančia į įvairius vartotojų poreikius ir greitai besikeičiančią aplinką gali padėti informacijos srautų ir medžiagų judėjimo integracija tiek pačios įmonės viduje, tiek ir tarp partnerių.

Žvelgiant plačiau, visame tiekimo procese dalyvauja tiekėjai, gamintojai, paskirstytojai ir vartotojai vienoje grandinėje. Šie visi dalyviai sudaro sudėtingą verslo tiekimo tinklą. Žvelgiant į šį kompleksškumą, įmonės pastebi, kad orientuojantis į atsiskyrimo (izoliacijos) strategiją, nepavyks pasiekti ilgalaikio konkurencinio pranašumo. Todėl įmonės siekia įdiegti tiekimo grandinės valdymo (SCM – *Supply Chain Management*) sistemas. Tai pabrėžia logistikos integraciją ir išlaidų mažinimą pateikiant produktus ir paslaugas greitai ir lanksčiai žemesne kaina. Efektyviai naudojančios SCM, įmonės gali kontroliuoti ir pagerinti verslo procesus, vertikaliai ir horizontaliai integruoti savo ir partnerių resursus, sumažinti visos tiekimo grandinės turtą ir išlaidas ir padidinti atsakymo į poreikį greitį.

Viena didžiausių problemų tiekimo grandinėse yra paklausos svyravimo stiprėjimas tiekimo grandinėse. Šis efektas yra vadinamas neapibrėžtumo arba „botago“ (*angl. bullwhip*) efektu ir pasireiškia tuo, kad kiekviename tiekimo grandinės etape paklausos svyravimai stiprėja tolstant grandinėje nuo vartotojo. Dėl šio efekto visa tiekimo grandinė tampa neoptimali: padidėja įmonių išlaidos, suprastėja vartotojų aptarnavimo lygis, sulėtėja reakcija į paklausos pasikeitimus. Ši problema tapo ypač opi pastaruoju metu stiprėjant konkurencijai. Todėl įmonės siekia laiku ir kokybiškai aptarnauti vartotojus kiek galima mažesnėmis išlaidomis.

Šio darbo tikslas yra imitaciniu modeliavimu pateikti galimus neapibrėžtumo efekto mažinimo būdus. Tikslui pasiekti suformuoti tokie uždaviniai:

1. Pateikti kitų autorių darbus apie neapibrėžtumo efektą.
2. Išanalizuoti tiekimo grandinę ir neapibrėžtumo efektą.
3. Sukurti imitacinį pasirinktos tiekimo grandinės modelį.
4. Modeliavimu pateikti galimus neapibrėžtumo efekto mažinimo būdus.

Šis baigiamasis darbas yra sudarytas iš aštuonių skyrių. Pirmi keturi skyriai – tai tiekimo grandinės ir neapibrėžtumo efekto analizė. O likusieji keturi skyriai skirti neapibrėžtumo efekto mažinimo sprendimams.

Pirmas skyrius yra įžanginis skyrius, pateikiantis darbo problematiką, darbo aktualumą, iškeltus tikslus ir uždavinius.

Antrame skyriuje pateikti kitų autorių darbai apie tiekimo grandinę ir neapibrėžtumo efektą grandinėse.

Trečiame skyriuje trumpai pateikiama tiekimo grandinė, skirtingi jos apibrėžimai. Išanalizuotos galimos tiekimo grandinės struktūros ir jos dalyviai, įvairūs srautai tarp tiekimo grandinės dalyvių.

Ketvirtame skyriuje analizuojamas neapibrėžtumo efektas tiekimo grandinėse ir galimos jo priežastys. Išskiriamos penkios pagrindinės neapibrėžtumo efekto priežastys.

Penktame skyriuje yra pateikiami keli imitaciniai tiekimo grandinės modeliai. Šie modeliai sukurti Rockwell Arena 7.01 imitacinio modeliavimo paketu (akademine versija). Šiame skyriuje pateikiamas pirminis modelis bei keli modeliai su galimais problemų sprendimais.

Šeštame skyriuje pateikiami darbo rezultatai. Įvairūs grafikai ir skaitinės vertės parodo galimus efekto mažinimo būdus ir šių priemonių efektyvumą.

Septintame skyriuje pateikiamos išvados, tolimesni darbai ir pasiūlymai.

Aštuntame skyriuje pateikiamas naudotos literatūros sąrašas.

2 Mokslinės literatūros apžvalga

Pastaruoju metu pastebimas nemažas susidomėjimas neapibrėžtumo arba „botago“ (*angl. bullwhip*) efektu. Šis fenomenas pasireiškia tuo, kad kiekviename tiekimo grandinės etape paklausos svyravimai stiprėja tolstant grandinėje nuo vartotojo. Pavyzdžiui, vartotojų užsakymų mažmenininkui svyravimai yra mažesni nei kad mažmenininko užsakymų didmenininkui. Visus šio efekto tyrimus būtų galima suskirstyti į tokias grupes [6]:

1. pateikiančias empirinius įrodymus apie neapibrėžtumo efekto egzistavimą;
2. analitiškai parodančias neapibrėžtumo efekto egzistavimą;
3. identifikuojančias galimas neapibrėžtumo efekto priežastis;
4. kuriančias neapibrėžtumo poveikio mažinimo strategijas.

Pirmasis neapibrėžtumo efektą apibūdino J. W. Forrester [11]. Jis empiriškai parodė, kad užsakymų gamintojui svyravimai yra žymiai didesni už vartotojų poreikį. Jis taip pat teigė, kad šis efektas yra stiprinamas kiekviename tiekimo grandinės etape, o pagrindinės neapibrėžtumo priežastys yra informacijos grįžtamojo ryšio kilpos tarp įmonių ir sistemų kompleksiskumas. J. W. Forrester neapibrėžtumo efektą nagrinėjo industrinės dinamikos kontekste.

J. D. Sterman [35] neapibrėžtumo efektą nagrinėjo pasinaudodamas alaus paskirstymo (*angl. The Beer Distribution Game*) žaidimu [42]. Jis teigia, kad žmonių elgesys (pavyzdžiui, neteisingas medžiagų ir poreikio informacijos supratimas) gali būti neapibrėžtumo efekto priežastimi.

A. S. Caplin [4] mano, kad neapibrėžtumo efektui įtakos turi užsakymų siuntimas partijomis. Jis nagrinėjo mažmenininką, kuris laikėsi nuolatinės peržiūros (S, s) medžiagų strategijos. Esant tokiai strategijai, mažmenininkui pateikiant užsakymą, užsakymo dydis, $Q = S - s$, yra fiksuotas ir žinomas. Tačiau užsakymų nepastovumas atsiranda dėl laiko trukmės tarp skirtingų užsakymų kintamumo (laiko, reikalingo medžiagų lygiui sumažėti nuo S iki s , kintamumas). A. S. Caplin įrodė, kad jeigu vartotojų paklausa yra nepriklausomai ir tolygiai pasiskirsčiusi (*ang. i.i.d. – independent and identically distributed*), tuomet mažmenininko sukurtų užsakymų kintamumas yra didesnis nei kad jam pateiktų vartotojų užsakymų kintamumas. Be to, užsakymų kintamumas tiesiogiai priklauso nuo užsakymų partijos dydžio. P. Kelle ir A. Milne [40] tyrė, kaip (S, s) strategijos parametrai, paklausos parametrai ir išlaidų koeficientai veikia užsakymų kintamumą per tikslių kiekybinių modelių aproksimaciją. Jie teigia, kad dažni ir maži užsakymai gali sumažinti didelio kintamumo ir iš to sekančio neapibrėžtumo efektą. (S, s) strategiją dar nagrinėjo R. Ehrhardt [10], D. L. Iglehart [17], H. Scarf [33], A. F. Veinott ir H. M. Wagner [38].

J. A. Kahn [18] parodė neapibrėžtumo efektą, kai mažmenininkas laikosi optimalios atsargų politikos ir kiekvieno periodo paklausa yra teigiamai koreliuota arba leidžiami perteklinės paklausos neįvykdymai.

H. Lee, P. Padmanabhan ir S. Whang [24] išskyrė keturias pagrindines neapibrėžtumo efekto priežastis:

1. Paklausos prognozavimas.
2. Užsakymas partijomis.
3. Kainų nepastovumas (svyravimas).
4. Aprūpinimo politika prekių stygiaus atveju.

Identifikavęs neapibrėžtumo efektą, H. Lee ir kiti pasiūlė keletą metodų, mažinančių šį efektą. Jie pasiūlė galimas priemones, paremtas esminiais koordinavimo mechanizmais, kaip pavyzdžiui informacijos apsikeitimas, kanalo reguliavimas ir operacinis efektyvumas. Informacijos apsikeitimas remiasi priemonėmis, kurios įgalina galutinio vartotojo paklausos informaciją pateikti visiems grandinės dalyviams iš karto. Kanalo reguliavimas yra kainų, transportavimo, sandėlio planavimo ir nuosavybės koordinavimas tarp visų tiekimo grandinės dalyvių. Operacinis efektyvumas apima priemones, pagerinančias veiklą, kaip išlaidų ir pristatymo trukmės sumažinimas. H. Lee ir kiti taip pat pabrėžė, kad prekių atsargų vedėjai turėtų vengti daugiopų paklausos prognozavimo atnaujinimų siekdami sumažinti neapibrėžtumo efektą. Informacijos perdavimas EDA (*angl. EDI – Electronic Data Interchange – Elektroninis duomenų apsikeitimas*) sistemomis yra didelis žingsnis mažinant užsakymų sukūrimo ir sandėlio papildymo išlaidas ir tokiu būdu mažinant užsakymo partijų dydį.

F. Chen, Z. Drezner, J. Ryan, ir D. Simchi-Levi [5; 6] išmatavo prognozavimo modelio, pristatymo trukmės ir informacijos įtaką neapibrėžtumo efektui. Kadangi prognozavimas, ilga pristatymo trukmė ir informacijos trūkumas yra pagrindiniai neapibrėžtumo efekto veiksniai, F. Chen ir kiti teigia, kad pristatymo trukmės sumažinimas ir paklausos informacijos centralizacija gali būti panaudoti mažinant neapibrėžtumo efektą.

K. Moinzadeh [29] pasiūlė atsargų papildymo politiką tiekėjui daugialypėje medžiagų grandinės sistemoje ir parodė, kad informacijos paskleidimas yra naudingiausias. J. Wikner, D. R. Towill ir M. Nairn [15] pastebėjo, kad, geriau išnaudojant informacijos srautus, ryškus paklausos didėjimo efekto sumažinimas gali būti pasiektas be žymių išlaidų.

Kai kuriais ypatingais atvejais produktai yra sukuriami tekimo grandinėje, sudarytoje iš daugelio pakopų ir su produktais, įgaunančiais tam tikras savybes kiekvienoje pakopoje. H. Lee, ir C. Tang [27] paminėjo, kad yra keletas būdų, kai kintamumas gali būti sumažintas po gamybos procesų reinžinerijos, vedančios prie geresnio operacinio atlikimo: mažesnis medžiagų kiekis, geresnis vartotojų aptarnavimas, mažesnės operacinės išlaidos. Vienas iš tokių reinžinerijos būdų yra dviejų nuoseklių etapų sekos perstatymas gamybos procese ar tiekimo grandinėje. Geriausias to pavyzdys yra „Benetton“ atvejis [27].

G. P. Cachon [3] tyrinėjo tiekimo grandinės paklausos svyravimus vieno tiekėjo ir N mažmenininkų modelyje su stochastiniu poreikio pasiskirstymu. Pasak jo, tiekėjo paklausos svyravimai sumažės, kai mažmenininko užsakymų intervalas pailgės arba kai padidės užsakomos

partijos dydis. Jis taip pat pastebėjo, kad sumažinus tiekėjo paklausos svyravimus planuojama užsakymo politika, galima sumažinti visos tiekimo grandinės išlaidas.

S. Gavirneni, R. Kapuscinski ir S. Tayur [12] lygino atvejį be informacijos apsikeitimo su dviem skirtingo lygio informacijos apsikeitimo strategijomis (dalinis ir visiškas informacijos apsikeitimas) paprastoje vieno mažmenininko ir vieno tiekėjo tiekimo grandinėje.

Yra sukurta ir keletas žaidimų, leidžiančių geriau suprasti tiekimo grandinę ir joje vykstančius procesus. Kadangi „alaus paskirstymo“ žaidimas [42] neatskleidė visų procesų ir reiškinių tiekimo grandinėje, buvo sukurta dar keletas žaidimų: „krepšinio lankų“ [21], „miško pramonės“ [30, 43] ir kiti. „Alaus paskirstymo“ žaidimas yra vienas populiariausių. Be to, žaidimą galima žaisti internete. Tai keturių pakopų linijinė tiekimo grandinė. Qu'ebec „miško pramonės“ žaidimas leidžia analizuoti procesus ne linijinėje tiekimo grandinėje, o „krepšinio lankų“ žaidimas buvo sukurtas neapibrėžtumo efektui tiekimo grandinėse analizuoti.

Lietuvoje nepavyko rasti lietuvių mokslinių straipsnių apie neapibrėžtumo efektą. Šiai dienai yra nedidelė dalis mokslinių straipsnių tik apie pačią tiekimo grandinę. Tačiau ir šie straipsniai tiekimo grandinę analizuoja siaurąją prasme: tai yra tik grandinės dalį, susijusią su logistika [19; 20] arba nagrinėja tik tiekimo grandinės valdymo klausimus [13; 41].

3 Tiekimo grandinė ir jos valdymas

3.1 Tiekimo grandinė

Anksčiau rinka vertė kiekvieną įmonę konkuruoti individualiai. Tačiau dabar viskas keičiasi – įmonės ir toliau konkuruoja tarpusavyje, bet vienos tiekimo grandinės (*angl. supply chain*) prieš kitą požiūriu. Todėl sugebėjimas valdyti tiekimo grandinę kaip vientisą, tarpusavio ryšių ir tarpusavyje susijusią sistemą, gali atvesti grandinės įmones į sėkmę. Šio požiūrio dėka galima lengviau aptikti prasto funkcionavimo taškus (etapus ar strategijas), sukuriančius dideles išlaidas galutiniam produktui. Tai turės naudos visiems grandinės nariams, o ne vienam ar dviems ir dažniausiai didžiausiems dalyviams. Todėl įmonės stengiasi daugiau bendradarbiauti dirbdami kaip vienoje komandoje (pavyzdžiui, sprendžiant poreikio klausimus nuo pardavimo taško iki visų tiekimo grandinės etapų).

Tiekimo grandinės terminas jau buvo pavartotas aštuntame dešimtmetyje J. F. Burns ir B. D. Sivazlian straipsnyje „Dynamic analysis of multi-echelon supply systems“ (1978) [30]. Skirtingi autoriai skirtingai apibrėžia tiekimo grandinę:

1. Tiekimo grandinė yra infrastruktūros tinklas, kuris parūpina žaliavas, perdirba jas į pusfabrikačius, o paskui į galutinius produktus ir pateikia juos vartotojams per paskirstymo sistemą (H. Lee ir C. Billington) [23].
2. Tiekimo grandinė yra viso medžiagų srauto nuo tiekėjo iki galutinio vartotojo per gamybos ir paskirstymo grandinę planavimas ir kontrolė (T. C. Jones ir D. W. Riley) [39].
3. Tai veiksmų visuma, susijusi su medžiagų, dalių ir galutinių produktų planavimu, koordinacija ir valdymu tarp tiekėjų ir vartotojų (G. C. Stevens) [39].
4. Tai grandinė, sujungianti kiekvieną produkcijos ir tiekimo proceso elementą nuo žaliavų iki galutinio vartotojo. Tokia tipinė grandinė kirs kelių įmonių ribas (S. Scott ir R. Westbrook) [39].
5. Tinklas įmonių, kurios sąveikauja siekdamos pateikti galutiniam vartotojui produktą ar paslaugą, sujungiantis srautus nuo žaliavų tiekimo iki galutinio produkto pristatymo (L. M. Ellram) [39].
6. Tai sistema, kurios dedamosios dalys apima žaliavų tiekėjus, gamybos infrastruktūrą, paskirstymo paslaugas ir vartotojus, apjungtus per tiesioginį medžiagų srautą ir atgalinį informacijos srautą (D. R. Towill ir kiti) [39].
7. Tai įmonių tinklas, kurios yra per tiesioginius ir atvirkštinius ryšius susijusios su skirtingais procesais ir veiksmais, kurie suteikia vertę produktų ir paslaugų forma galutiniam vartotojui (M. G. Christopher) [39].
8. Tai perdirbimo celių tinklas su šiomis charakteristikomis: tiekimas, transformacija ir poreikis (T. Davis) [39].
9. Medžiagų ir informacijos srautai infrastruktūros (prekiautojai, gamybos ir surinkimo gamyklos ir paskirstymo centrai) viduje, tiek ir tarp skirtingų elementų yra trys tradicinės tiekimo grandinės stadijos: aprūpinimas, gamyba ir paskirstymas (D. J. Thomas ir P. M. Griffin) [39].
10. Verslo procesų, nuo galutinio vartotojo per pirminius tiekėjus, tiekiančius produktus, paslaugas ir informaciją, kurie prideda vartotojams vertės, integracija (M. C. Cooper ir kiti) [39].
11. Tai tinklas sujungtų ir susijusių organizacijų, bendrai ir kooperatyviai dirbančių kartu, kad galėtų kontroliuoti, valdyti ir pagerinti medžiagų ir informacijos srautus tarp tiekėjų ir vartotojų (M. G. Christopher) [39].
12. Tinklas sujungtų organizacijų, siekiančių išpildyti vartotojų poreikius ... kartu su kitų tokios visumos tarpininkų poreikio išpildymu (G. Beers ir kiti) [39].

13. Tinklas procesų su pirminiais ryšiais, kurie yra susieti per produktų, informacijos ir/arba pinigų srautus (J. H. Trienekens) [39].
14. Tiekimo grandinė apima visas veiklas, susijusias su srautu ir transformacija gėrybių iš žaliavų lygio iki galutinio vartotojo, taip pat ir susijęs informacijos srautas. Medžiagos ir informacija „judą“ tiekimo grandine aukštyn ir žemyn (R. B. Handfield ir E. L. Nichols) [39].
15. Tiekimo grandinė yra įmonių, pateikiančių į rinką produktus ar paslaugas, reguliavimas (D. M. Lambert, J. R. Stock ir L. M. Ellram) [16].

Kiekviena tiekimo grandinė turi unikalų rinkinį paklausos ir operacinių iššūkių, tačiau esminiai rezultatai yra vienodi visais atvejais. Įmonės bet kurioje tiekimo grandinėje sprendimus turi priimti individualiai ir kolektyviai apie savo veiksmus penkiose srityse [16]:

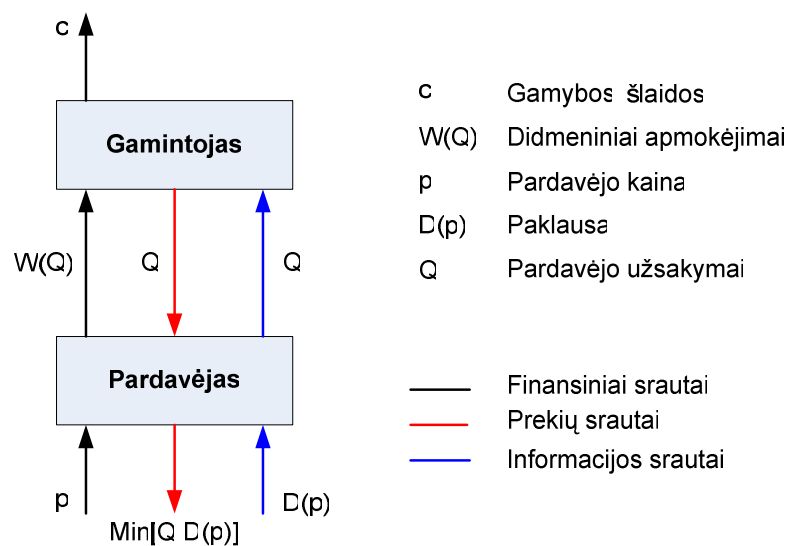
1. **Produkcija** – kokių produktų nori rinka? Kiek ir kokių produktų turėtų būti pagaminta ir kada? Ši veikla apima produkcijos planų sukūrimą, kurie įvertina gamyklos pajėgumus, apkrovos balansavimą, kokybės valdymą ir įrangos eksploataciją.
2. **Prekės** – kurios prekės turi būti saugomos kiekviename tiekimo grandinės etape? Kiek medžiagų turi būti saugoma kaip žaliavos, pusfabrikačiai ir produktai? Pagrindinis sandėlių tikslas yra „sušvelninti“ neapibrėžtumo efektą tiekimo grandinėje. Tačiau prekių sandėliavimas gali būti brangus, todėl kyla klausimas, koks sandėlio lygis yra optimalus ir koks turi būti papildymo taškas?
3. **Išsidėstymas** – kur turi būti gamybos ir sandėliavimo infrastruktūra? Kur yra ekonomiškai naudinga gaminti ir sandėliuoti produkciją? Ar turi būti panaudota esama infrastruktūra ar pastatyta nauja? Šie sprendimai sąlygoja galimus produktų srautų kelius.
4. **Transportavimas** – kaip produkcija turėtų būti pervežama iš vienos tiekimo grandinės vietos į kitą? Oro ir sunkvežimių pervežimai yra pakankamai greiti ir patikimi, tačiau brangūs. Pervežimai jūra ar geležinkeliu yra pigesni, tačiau yra ilgesni ir yra susiję su didesniu neapibrėžtumu. Šis neapibrėžtumas turi būti kompensuojamas didesniu sandėlio lygiu.
5. **Informacija** – kiek duomenų turi būti sukaupta ir kiek informacijos turi būti paskleista? Savalaikė ir tiksli informacija žada geresnę koordinaciją ir geresnį sprendimų priėmimą. Dėka geros informacijos galima priimti efektyvius sprendimus ką gaminti ir kiek, kur sandėliuoti prekes ir kaip geriau transportuoti.

Tiekimo grandinės valdymo tikslas yra pasiekti geriausią vartotojų aptarnavimo lygį išlaikant mažas aprūpinimo, gamybos, transportavimo ir sandėliavimo išlaidas [16].

3.2 Tiekimo grandinės struktūra ir jos dalyviai

Kiekviena įmonė stengiasi pasiekti geriausius rezultatus šiose srityse. Tai stengiamasi pasiekti susikoncentruojant pagrindinėje veiklos srityje, o visą likusią veiklą atiduoti kitoms įmonėms (*angl. outsource*).

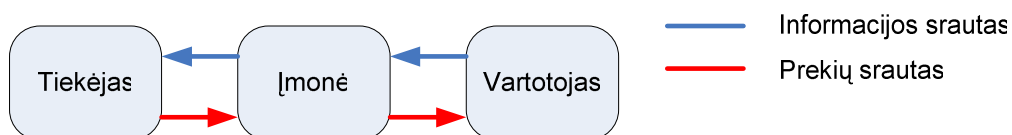
Pasak A. Tsay ir kitų [37]: „tiekimo grandinė yra du ar daugiau dalyvių, apjungti prekių, informacijos ir finansinių srautais“. Taigi tiekimo grandinę sudaro grandinės dalyviai ir trijų rūšių srautai (1 pav.)



1 pav. Srautai tiekimo grandinėje [37]

Nors tiekimo grandinėje yra trijų tipų srautai, tačiau literatūroje plačiausiai yra analizuojamos tik dvi srautų rūšys: informacijos ir prekių. Būtent šie du srautai ir turi daugiausiai įtakos visai tiekimo grandinės veiklai ir efektyvumui. Todėl savo darbe apsiribosiu šiais dviem srautais, visiškai neįvertindamas finansinių srautų.

Pačia paprasčiausia forma tiekimo grandinė yra sudaryta iš įmonės, jos tiekėjų ir vartotojų (2 pav.).



2 pav. Paprasčiausia tiekimo grandinė [16]

Tai yra pagrindiniai tiekimo grandinės dalyviai. Išplėstos tiekimo grandinės turi tris papildomas dalyvių grupes [16]:

1. Tiekėjo tiekėjas arba pirminis tiekėjas, esantis pačioje tiekimo grandinės pradžioje.
2. Vartotojo vartotojas arba galutinis vartotojas, esantis pačioje tiekimo grandinės pabaigoje.
3. Įmonių grupė, teikianti paslaugas kitoms tiekimo grandinės įmonėms. Šios įmonės teikia logistikos, finansų marketingo ir informacinių technologijų paslaugas.

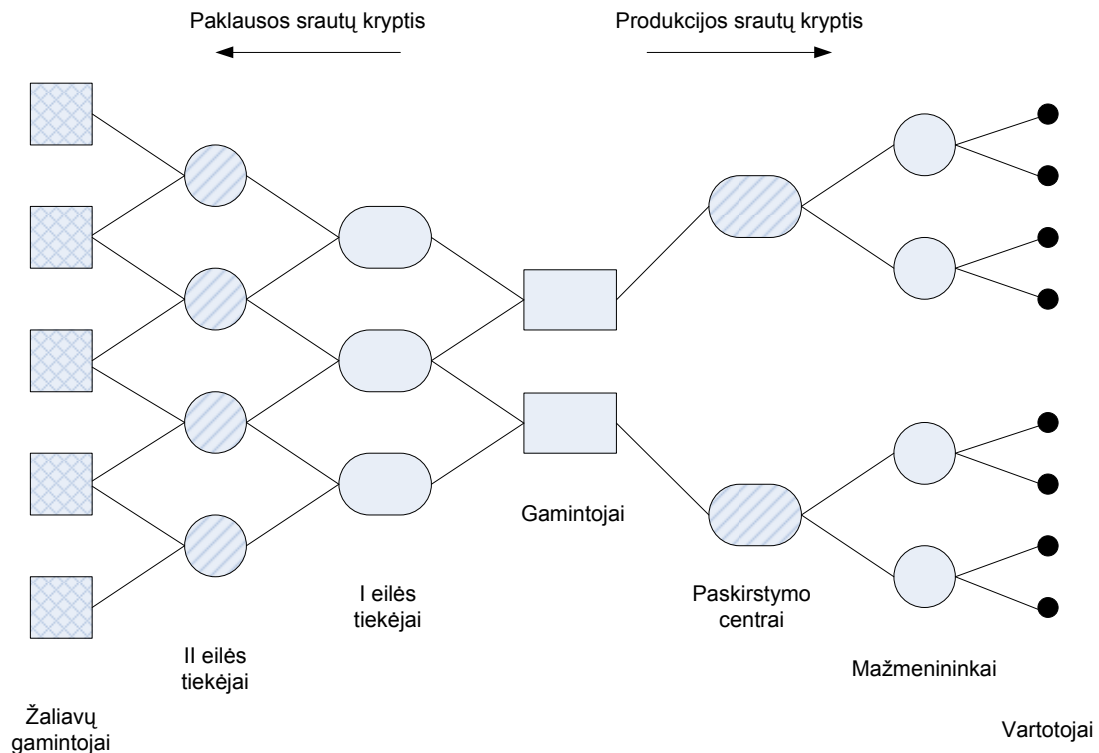
Kiekvienoje tiekimo grandinėje įmonės atlieka skirtingas funkcijas. Yra gamintojai, paskirstytojai (didmenininkai, mažmenininkai arba tie ir kiti) ir vartotojai, taip pat tam tikras paslaugas teikiančios įmonės:

1. Gamintojai – įmonės, gaminančios produktus. Tai apima žaliavų gamintojus ir galutinio vartojimo prekių gamintojus. Tik literatūroje dažniau gamintojais laikomi galutinio vartojimo prekių gamintojai, o tuo tarpu žaliavų gamintojai dažniau yra vadinami tiekėjais (*angl. supplier*). Produktai gali būti materialūs, nematerialūs (muzika, programinė įranga) arba tai gali būti paslaugos.
2. Paskirstytojai – yra įmonės, kurios paima produktus iš gamintojų dideliais kiekiais ir parduoda juos vartotojams. Tiekimo grandinėje pirminiais paskirstytojais dažniausiai būna didmenininkai, kurie toliau produktus perduoda mažmenininkams. Jie sumažina gamintojams poreikių svyravimus, sandėliuodami juos, ir rūpinasi galutinio vartotojo paieškomis.
3. Mažmenininkai – parduoda prekes galutiniam vartotojui nedideliais kiekiais. Šios įmonės tiksliai seka savo klientų poreikius ir pirmumo teises. Jos reklamuoja vartotojams ir naudoja įvairias kainų, paslaugų, produkto pasirinkimo priemones, kad pritrauktų vartotojus.
4. Vartotojai – tai pavieniai žmonės, ar įmonės, perkančios produktus galutiniam vartojimui.
5. Paslaugas teikiančios įmonės – tai įmonės, teikiančios paslaugas gamintojams, paskirstytojams, mažmenininkams ir vartotojams. Šios įmonės turi kompetenciją ir sugebėjimus tam tikrai veiklai, reikalingai tiekimo grandinėje. Todėl jos gali šias veiklas atlikti geriau ir su mažesnėmis išlaidomis, nei kad patys gamintojai, paskirstytojai, mažmenininkai ar vartotojai. Bendriausios ir dažniausiai sutinkamos paslaugas teikiančios įmonės yra transportavimo ir sandėliavimo įmonės.

Tiekimo grandinės sudarytos iš besikartojančio dalyvių, patenkančių į vieną ar kelias kategorijas, rinkinio. Laikui bėgant, visos tiekimo grandinės poreikiai lieka gana stabilūs, tačiau keičiasi dalyvių sudėtis ir jų vaidmenys.

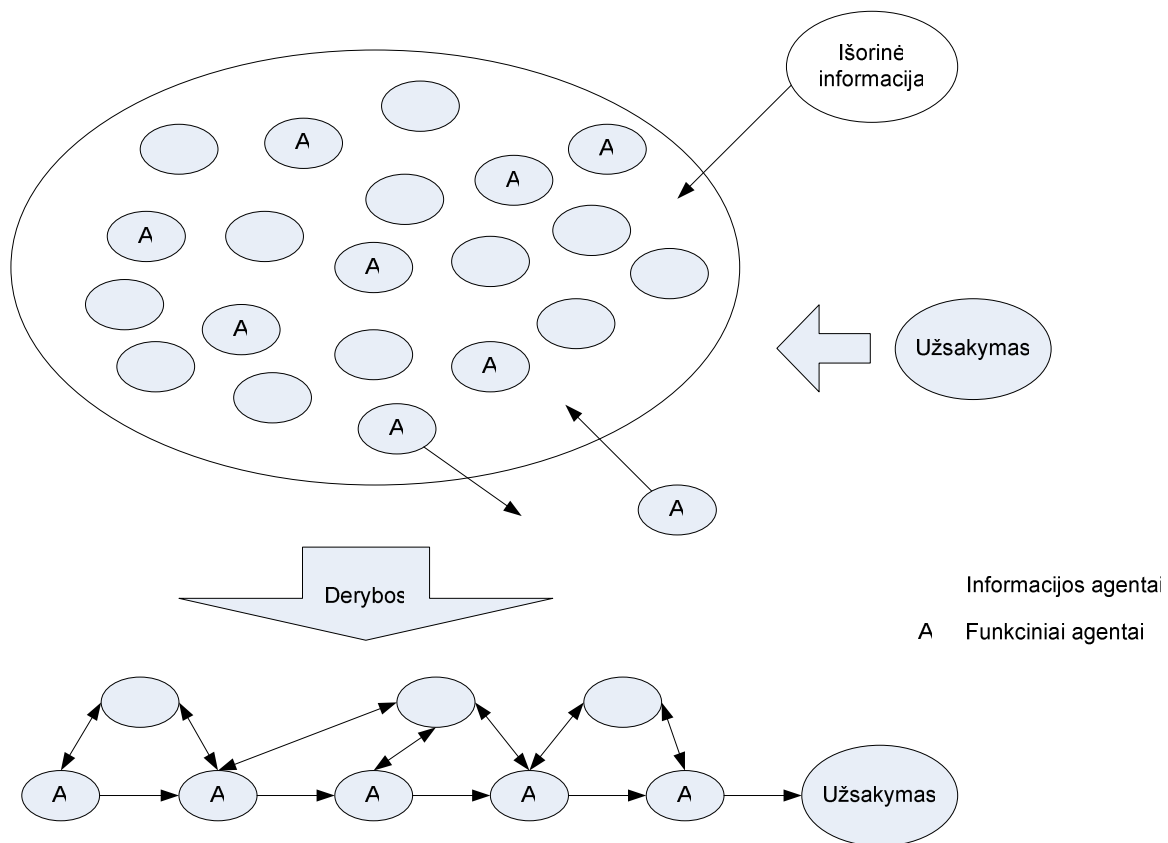
Pati paprasčiausia tiekimo grandinės struktūra yra linijinė (2 pav.). Bet dažnai sutinkamos ir medžio tipo tiekimo grandinės. Jos dažnai suformuojamos gamintojo pagrindu: teikimo grandinės

centre atsiduria gamintojas (vienas, o rečiau keli), o likę dalyviai atlieka žaliavų tiekimo arba produktų paskirstymo funkcijas (3 pav.)



3 pav. Tiekimo grandinės struktūra [36]

Y. Chen ir kiti [7] pasiūlė virtualios tiekimo grandinės struktūrą, t.y. tiekimo grandinė yra sudaroma iš kelių dalyvių tik vienam konkrečiam užsakymui. Grandinė yra sudaroma derybų tarp dalyvių būdu (4 pav.).



4 pav. Virtuali tiekimo grandinė užsakymui įvykdyti [7]

3.3 E-verslo įtaka tiekimo grandinei

Internetas ir susijusios informacijos ir komunikacijų technologijos (*angl. ICT – informatikon and communication technologies*) įgalino ekonomiškai efektyvų informacijos platinimą tarp skirtingų tiekimo grandinės dalyvių. Naujos tiekimo strategijos (pavyzdžiui, tiekėjo valdomas sandėlis (*angl. VMI – vendor managed inventory*), bendras planavimas, prognozavimas ir papildymas (*angl. CPFR – collaborative planning, forecasting and replenishment*), efektyvus reagavimas į vartotoją (*angl. ECR – efficient consumer response*) ir pan.) pradėjo naudoti šiuos naujus komunikacijos kanalus.

S. M. Disney [9] analizavo penkias tiekimo grandinės strategijas:

1. tradicinę;
2. e-parduotuvę;
3. sumažintą;
4. tiekėjo valdomą sandėlį (VMI);
5. elektroninę prekybos vietą (*angl. EPOS – electronic point of sales*).

Tradicinė tiekimo grandinė gali būti charakterizuojama keturiais nuosekliai sujungtais tiekimo grandinės dalyviais. Kiekvienas dalyvis gauna tik tiesioginę informaciją apie užsakymus ir

savo sandėlio lygi. Toliau dalyvis daro užsakymus tiesioginiam pirkėjui pagal turimą sandėlio lygį, pardavimus ir praities užsakymus.

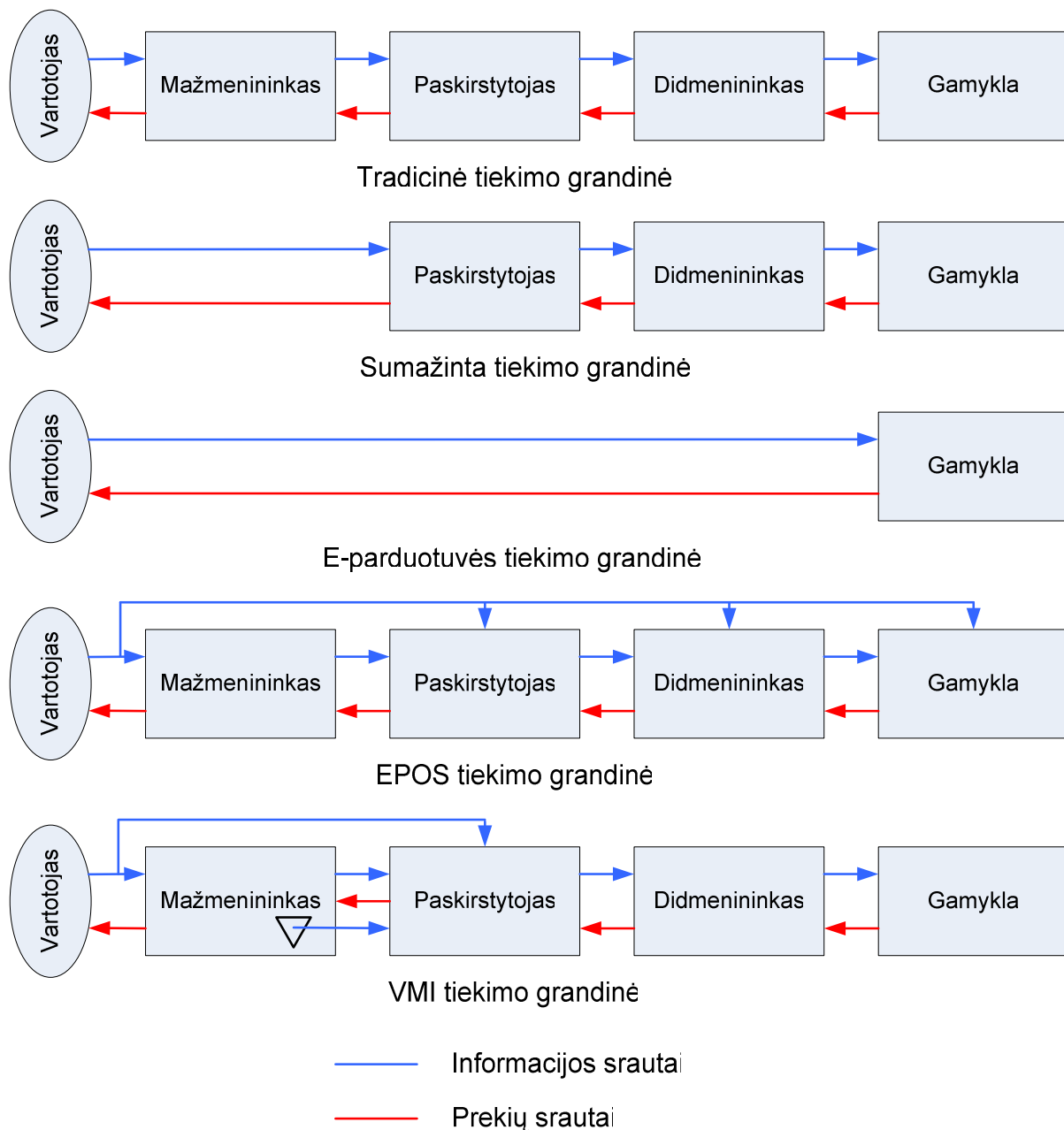
Sumažinta tiekimo grandinė reiškia tiekimo grandinę su mažesniu dalyvių skaičiumi. Tokios strategijos pavyzdžiu yra Amazon.com [44] tiekimo grandinė, kur nėra mažmenininkų grandinės dalyvio. Panaudodami ICT, Amazon.com sugebėjo eliminuoti vieną tiekimo grandies pakopą. Šią strategiją, kaip efektyvią priemonę tiekimo grandinės patobulinimui, pasiūlė J. Wikner ir kiti darbe „Smoothing supply chain dynamics“ [9].

E-parduotuvės strategiją – kai gamintojas užsakymus gauna tiesiogiai iš galutinio vartotojo (pavyzdžiui, internetu) ir išsiunčia produktą tiesiogiai vartotojui. Tokia tiekimo grandinės strategija turi tokią pat fundamentinę struktūrą, kaip ir vieno dalyvio tradicinė tiekimo grandinė.

Elektroninės prekybos vietos (EPOS) strategija suprantama, kai galutinio vartotojo pirkimai yra matomi visiems tiekimo grandinės dalyviams. Tokia situacija yra plačiai paplitusi bakalėjos tiekimo grandinėse, kur EPOS duomenys yra prieinami Internetu tiesiogiai iš mažmenininko arba trečiųjų šalių, kurie gali būti naudojami dalyvių prognozėms. Šios strategijos atveju galutinio vartotojo pirkimo informacija gali būti naudojama kiekvieno dalyvio planavimo tikslams, tačiau kiekvienas dalyvis turi pateikti tai, kas buvo užsakyta jo vartotojų.

S. M. Disney ir kiti [9] analizavo tokią tiekėjo valdomo sandėlio (VMI) situaciją: tiekėjas (paskirstytojas) dviejų pakopų VMI tiekimo grandinėje valdo mažmenininkų sandėlį. Paskirstytojui yra suteikiama informacija apie mažmenininko pardavimus ir sandėlio lygius. Šioje situacijoje mažmenininkai neformuoja užsakymų paskirstytojui, tačiau pasitiki, kad paskirstytojas pagal turimą informaciją sugebės laiku pristatyti reikiamą produkcijos kiekį. Likę grandinės dalyviai elgėsi taip, kaip ir tradicinėje tiekimo grandinėje [9].

Skirtingos e-verslo strategijos, kurias analizavo S. M. Disney, pateiktos 5 pav.



5 pav. Penkios skirtingos e-verslo strategijos

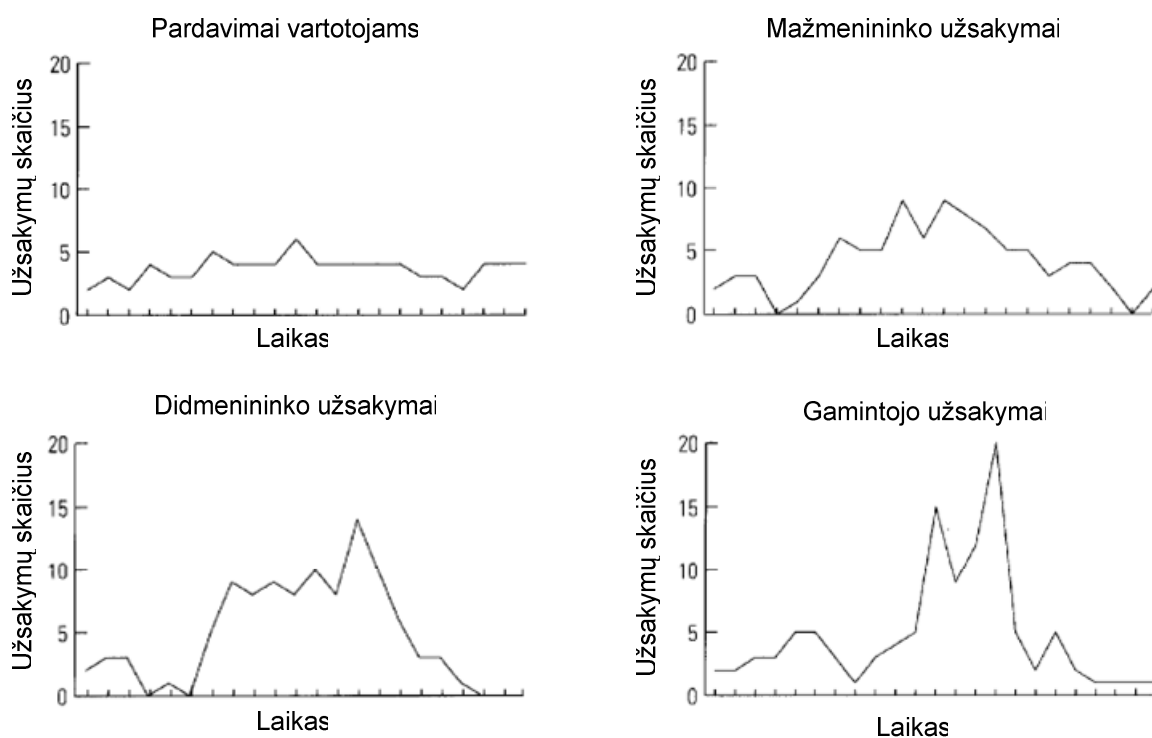
4 Neapibrėžtumas tiekimo grandinėse

Neapibrėžtumo efektas (*angl. bullwhip effect*) yra viena iš pagrindinių tiekimo grandinės valdymo problemų. Šį terminą pirmą kartą pavartojo „Procter & Gamble“. Kai logistikos vadovai išanalizavo vystyklų užsakymų struktūrą, pastebėjo, kad produkto pardavimai pas mažmenininkus svyravo, tačiau pokyčiai buvo pakankamai maži. Bet paskirstytojų užsakymai „Procter & Gamble“ įmonei parodė didesnius svyravimus. Vėliau, kai įmonės vadovai peržiūrėjo medžiagų užsakymus iš tiekėjų, kaip, pavyzdžiui, 3M, jie pastebėjo, kad svyravimai buvo dar didesni, nors tiekimo grandinės pradžioje vystyklų pirkimai buvo pakankamai tolygūs. Vadinasi, paklausos ir užsakymų

svyravimai yra stiprinami judant tiekimo grandine nuo vartotojų tolyn. „Procter & Gamble“ šį efektą pradėjo vadinti „rimbo efektu“ (*angl. bullwhip effect*) [28].

Yra keletas neapibrėžtumo efekto padarinių: padidėja išlaidos dėl didesnių sandėlio lygių ir sumažėjusio tiekimo grandinės judrumo, sumažėja vartotojų aptarnavimo lygis, neefektyvus transportavimas, gamybos planų nesilaikymas. Dėl šios priežasties kiekvienas tiekimo grandinės dalyvis kaupia atsargas dėl didelio paklausos neapibrėžtumo ir kintamumo [25].

Nors ir bendro vartojimo prekių pardavimai vartotojams svyruoja menkai, tačiau mažmenininkų užsakymai didmenininkams svyruoja žymiai daugiau (6 pav.). Užsakymai gamintojams ir gamintojų užsakymai tiekėjams pasiekia dar didesnes svyravimų amplitudes [24]. Norint išspręsti šią problemą, visų pirma reikia išsiaiškinti neapibrėžtumo efekto priežastis.



6 pav. Užsakymų kintamumo lygio kitimas tiekimo grandinėje [24]

4.1 Neapibrėžtumo efekto priežastys

H. L. Lee ir kiti [24] išskyrė keturias pagrindines neapibrėžtumo efekto priežastis:

1. Paklausos prognozavimas.
2. Užsakymas partijomis.
3. Kainų nepastovumas (svyravimas).
4. Aprūpinimo politika prekių stygiaus atveju.

J. Nienhaus ir kiti [31] išanalizavę alaus paskirstymo žaidimą [42], išskiria dar vieną neapibrėžtumo efekto priežastį – žmonių elgesį.

4.1.1 Paklausos prognozavimas

Kiekviena įmonė tiekimo grandinėje atlieka produkcijos prognozes, kad sudarytų gamybos planus, resursų planus, sandėlio kontrolę ir medžiagų poreikio planavimą. Planavimas paprastai yra paremtas istoriniais duomenimis, gautais iš tiesioginio pirkėjo (esančio greta tiekimo grandinėje). Kai pirkėjas sukuria užsakymą, įmonė šią informaciją panaudoja, kaip signalą ateities poreikiui. Pagal šią informaciją įmonė pakoreguoja savo paklausos prognozes ir užsakymus tiesioginiam pardavėjui. Paklausos signalo apdorojimas turi didelę įtaką neapibrėžtumo efektui [24].

Pavyzdžiui, jeigu jums reikia nuspręsti, kiek užsakyti iš tiekėjo, naudojate paprastus prognozavimo metodus (pavyzdžiui, eksponentinis išlyginimas). Tokiu būdu ateities paklausa yra nuolat atnaujinama, kai tik gaunami nauji duomenys. Užsakymas tiekėjui atspindi medžiagų papildymą, reikalingą išpildyti ateities užsakymus ir atsargą nenumatytiems atvejams. Esant dideliems prekių pristatymo terminams, atsargos dažnai skaičiuojamos kelioms savaitėms. To rezultatas – užsakymų kiekio svyravimai, didesni nei kad pardavimų svyravimai.

Tokiu būdu sekantis tiekimo grandinės dalyvis taip pat atlieka prognozavimą ir pagal gautus užsakymus planuoja užsakymus savo tiesioginiam tiekėjui. Kadangi užsakymų svyravimai jau yra didesni nei kad tiesioginio pirkėjo užsakymai, tai užsakymai tiesioginiam tiekėjui yra dar didesni. Kadangi saugus atsargų lygis turi įtakos neapibrėžtumo efektui, todėl natūralu, kad esant didesnėms prekių transportavimo trukmėms paklausos svyravimai bus didesni.

4.1.2 Užsakymas partijomis

Užsakymai įmonei nuolat mažina atsargų kiekį, tačiau ji gali iš karto nekurti užsakymo savo tiekėjui. Todėl užsakymai dažnai yra formuojami partijomis. Yra dvi pagrindinės užsakymų grupavimo formos [24]:

- periodinis užsakymas;
- stūmimo (*angl. push*) užsakymas.

Įmonės dažniau atlieka užsakymus kas savaitę, dvi ar mėnesį, nei kad nuolatos dėl kelių priežasčių. Dažnai tiekėjai negali aptarnauti dažno užsakymų apdorojimo, nes tam reikia nemažai laiko ir padidėja išlaidos. Taip pat neretai įmonės naudoja medžiagų poreikio planavimo (*angl. MRP – Material Requirements Planning*) sistemas prekių užsakymui iš tiekėjų. Tokios sistemos dažnai paleidžiamos kas mėnesį, todėl ir užsakymai yra formuojami kartą per mėnesį. Trečia priežastis yra ta, kai yra lėtas prekių judėjimas ir dažniau formuojant užsakymus gali nebūti pakankamai prekių užsakymo įvykdymui [24].

Dėl užsakymo partijomis gaunami paklausos maksimumai užsakymo metu ir nulinė paklausa tarp užsakymų. Todėl periodiniai užsakymai taip pat turi įtakos neapibrėžtumo efektui.

Viena iš pagrindinių kliūčių įmonei užsakinėti dažniau yra transportavimo išlaidos. Yra skirtingos pilnai pakrauto sunkvežimio (*angl. full truckload*) ir nepilnai pakrauto sunkvežimio (*angl. less-than-truckload*) prekių kainos, todėl įmonės yra linkusios užsakinėti kupiną sunkvežimį prekių.

Užsakymo stūmimo atveju įmonė patiria pasikartojančius paklausos antplūdžius. Tokiu atveju įmonė tiesiog „stumia“ užsakymus iš vartotojų į save periodiškai tikrindami pardavėjus. Pardavėjai, norėdami įvykdyti pardavimų kvotas, gali pasiskolinti į priekį ir pasirašyti užsakymą iš anksto.

Neapibrėžtumo efektas pasireiškia periodiškai formuojant užsakymus. Jeigu visų vartotojų užsakymai būtų išsibarstę laike, neapibrėžtumo efektas būtų mažesnis. Tačiau užsakymai dažnai yra atsitiktinai pasiskirstę, todėl jie gali persidengti suformuodami didesnius paklausos svyravimus.

4.1.3 Kainų svyravimai

Pagal atliktus tyrimus [24] 80 proc. visų transakcijų tarp gamintojų ir paskirstytojų bakalėjos rinkoje buvo atlikta „pirkimo į priekį“ būdu, kai prekės buvo perkamos anksčiau už poreikį dažniausiai dėl pasiūlytų gerų kainų.

Išankstinis pirkimas atsiranda dėl kainų svyravimo rinkoje. Gamintojai ir paskirstytojai nuolat skelbia įvairius pasiūlymus (kainų nuolaidos, kiekio nuolaidos, kuponai, permokos gražinimas ir pan.), todėl kainos ir svyruoja. To rezultatas – vartotojai perka kiekiais, didesniais nei kad jiems reikia tam kartui ir sandėliuoja ateičiai.

Tokie pasiūlymai gali būti brangūs tiekimo grandinei. Kai kaina yra žema, vartotojai perka daugiau, nei kad jiems tuo metu reikia. Kainai pakilus, vartotojai nustoja pirkti ir pradeda prekes imti iš savo sandėlio. Todėl vartotojų pirkimas neatspindi jų vartojimo ir kiekio svyravimai yra didesni.

4.1.4 Aprūpinimo politika prekių stygiaus atveju

Kai produkto paklausa viršija pasiūlą, gamintojas skirsto prekes vartotojams pagal tam tikras taisykles. Pagal vieną schemą, gamintojas paskirsto prekes vartotojams proporcingai jų užsakymui [21]. Pavyzdžiui, jeigu pasiūla sudaro 50 proc. paklausos, visi vartotojai gaus 50 proc. užsakytos produkcijos. Tai žinodami, klientai stengiasi padidinti užsakymo kiekius. Vėliau, gavus reikiamą produkcijos kiekį, vartotojai likusius užsakymus atšaukia.

4.1.5 Žmogaus elgsenos įtaka neapibrėžtumo efektui

J. Nienhaus ir kiti [31] tyrinėjo žmonių elgesio įtaką neapibrėžtumo efektui. Pasak jų, tai yra dėl dviejų kraštutinių elgesio būdų:

1. Kai kurie žmonės stengiasi būti „saugiu uostu“ tiekimo grandinėje. Jie užsako daugiau, nei kad jiems reikia ir tokiu būdu padidina sandėlio lygį. Jie ne tik kad padidina savo išlaidas sandėliuodami prekes, bet priverčia ir savo tiesioginį tiekėją daugiau užsakyti arba mokėti baudas už prekių stygių. Tokia situacija turi neigiamą įtaką visai tiekimo grandinei.
2. Kita kraštutinė strategija yra „panika“ – ištuštinti sandėlį prieš tai, kol vartotojo paklausa išaugs. Tai iš pradžių neturi jokios įtakos tiekimo grandinei, tačiau, kai tik vartotojo užsakymas padidėja, žmogus turi užsakyti daugiau, nei tas, kuris turi saugų sandėlio lygį. Tada ši strategija turi tokią pat neigiamą įtaką visai grandinei, kaip ir pirmoji strategija.

Kuo elgesys yra artimesnis vienai iš anksčiau paminėtų strategijų, tuo neapibrėžtumo efektas stipresnis. Taip pat neapibrėžtumo efektui įtakos turi ir prastas informacijos perdavimas grandinėje sekančiam dalyviui. Kadangi įmonės galvoja, kad gauta informacija jiems yra svarbiau nei kad sekančiam dalyviui, tai ji nesirūpina tos informacijos tolimesniu perdavimu.

4.2 Neapibrėžtumo efekto mažinimo būdai

J. W. Forrester [11] pasiūlė tris neapibrėžtumo mažinimo būdus:

1. Paspartinti užsakymų apdorojimą. Šio proceso trukmės trumpinimas turi įtakos mažinant neapibrėžtumo efektą, tačiau tiekimo grandinės trumpinimas yra žymiai efektyvesnė priemonė.
2. Pagerinti duomenų kokybę. Gamintojui labai svarbu turėti priėjimą prie mažmenininkų pardavimų informacijos.
3. Sandėlio lygio suregulavimas. Sandėlio lygio svyravimai gali būti sureguliuojami ne tik kitam periodui, bet ir sekančiuose ateities perioduose.

H. L. Lee [25] ir kiti pasiūlė praktinių patarimų, mažinančių neapibrėžtumo efektą, kiekvienai jų paminėtai efekto priežastiai:

1. Poreikio apdorojimas. Poreikio iškraipymai yra dėl riboto tiekėjų ir gamintojų produkcijos galutinio vartotojo vartojimo matymo. Vienas iš šio efekto mažinimo būdų yra dalijimasis galutinio vartotojo informacija su visomis įmonėmis paskirstymo grandinėje. Neapibrėžtumo efektą didina ir grandinės dalyvių skirtingų prognozavimo metodų naudojimas. Siekiant eliminuoti neapibrėžtumo efektą, būtina,

kad prognozavimą ir pirkimų veiklą tiekimo grandinėje atliktų vienas dalyvis ir via tai pateiktų kitiems.

H. L. Lee ir kiti [24] taip pat pasiūlė VMI (*angl. vendor managed inventory – tiekėjo valdomas sandėlis*) ir CRP (*angl. continuous replenishment – nuolatinis papildymas*) kaip neapibrėžtumo mažinimo priemones. Šios priemonės yra paremtos IT ir IS (*informacinės sistemos*) panaudojimu įmonėse. Tarpinių grandinės pakopų eliminavimas ir pristatymo trukmės sutrumpinimas taip pat sumažina neapibrėžtumo efektą.

2. Aprūpinimo politika prekių stygiaus atveju – kai atsiranda grėsmė, kad prekių paskirstymas vartotojams gali būti atliktas pagal vartotojų istorinius pirkimus, o ne pagal užsakymus. Kita problema atsiranda, kai vartotojas stengiasi apsisaugoti nuo galimo prekių stygiaus. Tokiu atveju gamintojas turi dalintis sandėlio ir gamybos informacija. Vienas iš būdų išvengti užsakymų iškraipymo yra pirkimų lankstumo sutartinis apribojimas.
3. Partijų formavimas. Partijų naudojimo priežastis yra fiksuotos gamybos ir pirkimo išlaidos ir peržiūrėjimo periodų naudojimas gamintojui nesekant jų produktų vartojimo. Čia neapibrėžtumo efektas gali būti sumažintas mažinant fiksuotas užsakymo išlaidas panaudojant automatinio papildymo sistemas (naudojant tokią sistemą nereikia kurti užsakymų rankiniu būdu). Efekta gali dar labiau sumažinti pilnos informacijos prieinamumas proceso metu.
4. Kainų svyravimai. Siekiant išvengti kainų svyravimo, H. L. Lee siūlo naudoti kiekvieną dieną žemiausios kainos strategiją. Kita priemonė yra naudoti sutartinį ryšio tarp produkcijos pirkimo ir pristatymo panaikinimą, t.y. didelis pirkimas su nuolaida gali būti pristatytas per kelis ateities periodus.

D. Simchi-Levi [8] pasiūlė panašias priemones neapibrėžtumo efekto mažinimui:

1. Mažinti neapibrėžtumą (*angl. uncertainty*) centralizuojant kiekvieno grandinės dalyvio poreikio informaciją ir tiekimą. Taip pat neapibrėžtumą gali sumažinti ir pilna informacija apie faktinį produktų suvartojimą.
2. Mažinti svyravimus. Neapibrėžtumo efektas gali būti sumažintas mažinant svyravimus kiekvienoje tiekimo grandinės pakopoje (pavyzdžiui, vengiant atsitiktinių nuolaidų).
3. Mažinti papildymo trukmę. Papildymo trukmė didina neapibrėžtumą, kuris egzistuoja prognozavimo procese. Todėl trumpinant šią trukmę, mažėja ir neapibrėžtumas.

4. Formuoti strateginius tarpusavio ryšius. Partnerystė gali sumažinti neapibrėžtumo efektą pakeičiant informacijos apsikeitimo ir sprendimų priėmimo būdus.

Bendrai galima pasakyti, kad neapibrėžtumo efektą tiekimo grandinėse mažina informacijos pateikimas. Pardavimų informacijos centralizacija verčia visus tiekimo grandinės planus reaguoti į tuos pačius duomenis.

S. Gavirneni ir kiti [12] naudoja skirtingo lygio sandėlio valdymo teoriją ir parodo, kad informacijos apsikeitimas tarp tiekėjo ir mažmenininko smarkiai sumažina išlaidas. Autorius analizavo tris skirtingas situacijas:

1. Tradicinė tiekimo grandinė be informacijos pateikimo, t.y. tiekėjas žino tik praeities užsakymus iš mažmenininko.
2. Tiekėjas žino mažmenininko (s, S) politiką o tai pat ir produkcijos poreikio pasiskirstymą.
3. Tiekėjas turi pilną mažmenininko būsenos informaciją.

S. Gavirneni parodo, kad (s, S) sandėlio papildymo politika yra optimaliausia esant informacijos apsikeitimui tarp grandinės dalyvių.

H. L. Lee ir kiti [26] taip pat parodo informacijos pateikimo visiems grandinės dalyviams naudą. Tai leidžia sumažinti poreikio svyravimus tiekėjui, todėl sumažėja ir neapibrėžtumo efektas.

4.3 IT įtaka mažinant neapibrėžtumo efektą

Internetas verčia įmones perorganizuoti verslo modelius. Pagrindinis tikslas yra visos tiekimo grandinės pagerinimas, o ne tik savo organizacijos. Įmonės dabar gali lengvai keistis informacija, padaryti užsakymus ir parodyti užsakymo būseną savo vartotojams. Kiekvienas gali virtualiai pirkti ar parduoti internete. Dabar vis labiau populiarėja tokie terminai, kaip B2B (verslas verslui – business to business), B2C (verslas vartotojui – business to consumer), C2B (vartotojas verslui – consumer to business), C2C (vartotojas vartotojui – consumer to consumer), e-komercija, e-verslas, e-valdžia ir pan.

IT sprendimų evoliucija įgalina naujas informacijos ir sprendimų keitimosi galimybes tarp grandinės dalyvių. Protingas IT panaudojimas gali padaryti visą tiekimo grandinę efektyvesnę ir greičiau reaguojančią į galutinio vartotojo poreikius [40].

Pagrindinė tradicinių tiekimo grandinių problema yra grandinės dalyvių procesų integracijos trūkumas. Dėl to gaunama pasenusi informacija ir atliekamas izoliuotas planavimas. Internetas leidžia bendradarbiauti grandinės dalyviams suteikiant informaciją greitai ir laiku. Tai terpė įvairioms informacinėms sistemoms, leidžiančioms pagerinti verslo procesus ir tokiu būdu sumažinti neapibrėžtumo efektą.

P. Keskinocak ir S. Tayur [22] analizavo IT paremtas tiekimo grandines. Analizuota CPFR strategija (*angl. collaborative planning, forecasting and replenishment*) yra vienas iš būdų mažinti neapibrėžtumo efektą. Bendras planavimas, prognozavimas ir papildymas (CPFR) yra taisyklių ir procedūrų rinkinys, kurių tikslas yra padidinti tiekimo grandinės efektyvumą sukuriant fizinių ir informacijos srautų standartus. Ši SCM (*ang. supply chain management*) strategija plačiau paplito B2B verslo modeliuose.

Tiekimo grandinės efektyvumas pasiekiamas dalyviams dalijantis informacija ir planais, kurie padės atlikti tikslesnes prognozes. Pagrindinė informacija ateina iš galutinių vartotojų ir yra naudojama poreikio prognozei, produkcijos planavimui ir pristatymo planavimui.

D. Simchi-Levi [14] teigia, kad e-verslas gali sumažinti neapibrėžtumo efektą, o tuo pačiu sumažinti išlaidas ir padidinti pelną, padidinti aptarnavimo lygį ir lankstumą. Jis koncentruojasi į pilnos informacijos apie galutinių vartotojų poreikį pateikimą, vadinamą „tiekimo grandinės matomumas“ (*angl. supply chain visibility*). Tai gali sumažinti neapibrėžtumo efektą, jeigu vartotojų poreikio informacija yra pasiekama visiems grandinės partneriams, leidžianti atlikti tikslesnes prognozes (vietoj to, kad prognozuoti pagal tiesioginio pirkėjo užsakymus, kurie gali svyruoti daugiau, nei kad galutinio vartotojo užsakymai).

Be to, e-verslo dėka tiekimo grandinės vietoj tradicinės „stūmimo“ (*angl. push*) strategijos pradeda naudoti „stūmimo/traukimo“ (*angl. push/pull*) strategiją. „Stūmimo“ strategija yra tokia, kai gamyba ir paskirstymas yra paremti prognozavimu. Šios strategijos problema yra tame, kad prognozės dažnai būna netikslios. Sudėtinga yra nuspėti vartotojų poreikį, todėl „stūmimo“ sistema yra jautri neapibrėžtumo efektui. Interneto ir internetinių įmonių (*angl. dot-com*) atsiradimo pradžioje buvo manoma, kad interneto dėka tiekimo grandinėse bus naudojama nauja „traukimo“ strategija. Tokiose tiekimo grandinėse vartotojo poreikiai (o ne prognozės) lemia gamybą ir paskirstymą. Grynoje „traukimo“ sistemoje įmonė nesandėliuoja jokių produktų, o tik gamina arba užsisako pagal gautus užsakymus. Iš pirmo žvilgsnio tokios sistemos yra labai patrauklios, nes leidžia eliminuoti sandėlius, sumažinti neapibrėžtumo efektą, padidinti aptarnavimo lygį ir pan. Tačiau labai sunku įdiegti tokią strategiją esant ilgiems tiekimo terminams. Taip pat ši strategija yra nepatraukli ir ekonomiškai, nes gamyba ir paskirstymas priklauso nuo vartotojų poreikių. Todėl sunku gaminti partijomis ar pristatyti „pilnai pakrautą sunkvežimį“ (*angl. fully loaded truck*). Dėl abiejų strategijų privalumų ir trūkumų, pastaruoju metu pradėta taikyti „stūmimo/traukimo“ strategija.

S. M. Disney [9], atliko neapibrėžtum efekto analizę esant penkioms skirtingoms e-verslo strategijoms. Gauti rezultatai parodo, kad efektyviausiai neapibrėžtumo efektą mažina elektroninės prekybos vietos (*angl. EPOS – electronic point of sales*) strategija be bendro planavimo, prognozavimo ir papildymo (*angl. CPFR – collaborative planning, forecasting and replenishment*).

Pagal alaus paskirstymo žaidimo [42] rezultatus neapibrėžtumo efekto lygis gamykloje tesiekė 0.69 ir buvo mažiausias. Neapibrėžtumo efekto lygis buvo apskaičiuojamas pagal F. Chen [5] pasiūlytą formulę:

$$\text{neapibrėžtumo lygis} = \frac{\delta_{\text{uzsak}}}{\delta_{\text{pard}}} . \quad (1)$$

5 Tiekimo grandinės imitacinis modeliavimas

Tiekimo grandinė modeliuota su Rockwell Arena 7.01 modeliavimo taikomosios programos akademine versija. Akademine versija yra skirta mokymosi tikslams. Ši versija turi tokį pat funkcionalumą, kaip ir profesionali versija, tačiau yra keletas apribojimų:

1. Maksimalus objektų skaičius modelyje negali viršyti 300.
2. Maksimalus vienu metu esančių subjektų (*angl. entity*) skaičius imitacinio modeliavimo metu negali viršyti 150.

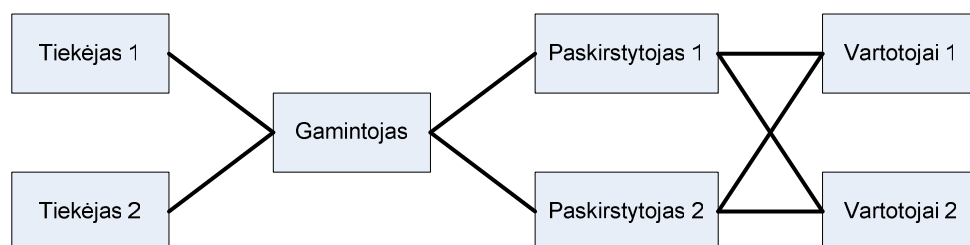
Toliau bus apibūdinta modeliuojama tiekimo grandinė, kurios struktūrą lėmė modelio sudėtingumas ir imitacinio modeliavimo programos apribojimai.

5.1 Tiekimo grandinės modelis

Pasirinktą tiekimo grandinės modelį sudaro 7 dalyviai:

- dvi vartotojų grupės (kurių kiekviena sukuria tris skirtingus užsakymų srautus);
- du paskirstytojai;
- vienas gamintojas;
- du komponentų tiekėjai.

Tiekimo grandinė nėra pati paprasčiausia todėl, kad joje yra lygiagrečių informacijos ir prekių srautų (7 pav.).

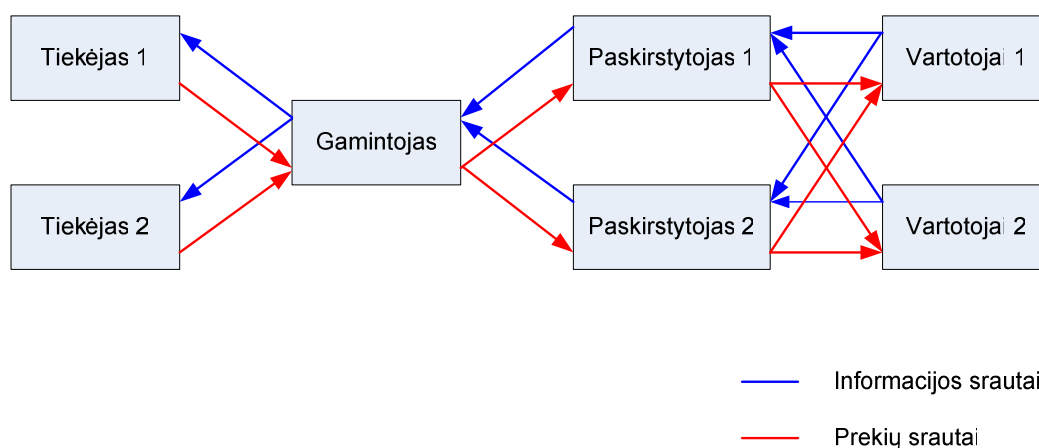


7 pav. Modeliuojama tiekimo grandinė

Šiame darbe buvo sukurti aštuoni skirtingi tiekimo grandinės modeliai, analizuojantys dvi skirtingas neapibrėžtumo efekto mažinimo priemones ir skirtingų vartotojų užsakymų srautų pasiskirstymų įtaką šių priemonių efektyvumui:

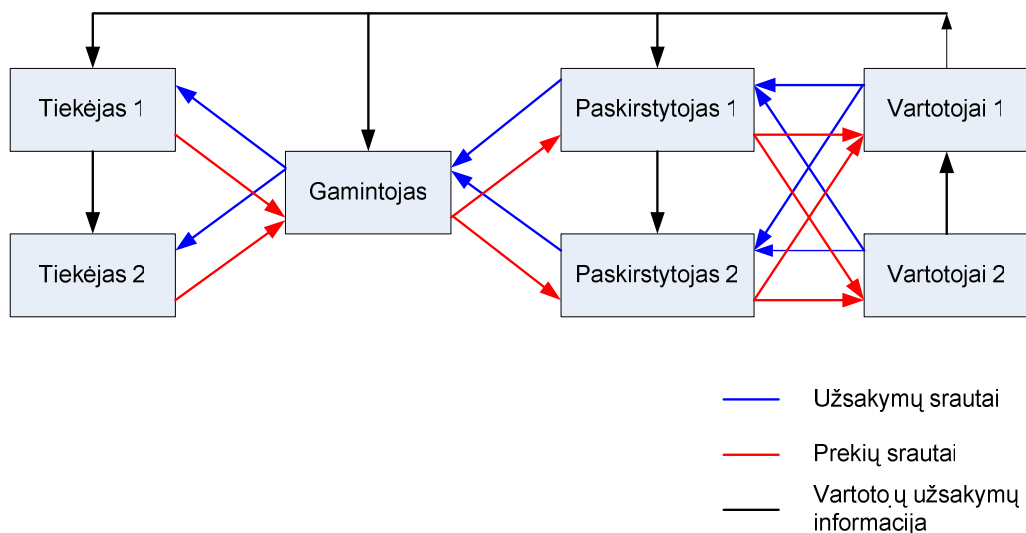
1. Eksponentinis užsakymų pasiskirstymas:
 - a. pirminis modelis;
 - b. prekių partijų panaikinimo modelis;
 - c. vartotojų užsakymų informacijos pateikimo visiems grandinės dalyviams modelis;
 - d. modelis panaudojant abi priemones.
2. Normalusis užsakymų pasiskirstymas
 - a. pirminis modelis;
 - b. prekių partijų panaikinimo modelis;
 - c. vartotojų užsakymų informacijos pateikimo visiems grandinės dalyviams modelis;
 - d. modelis panaudojant abi priemones.

a ir b atveju pateikta paprasta tiekimo grandinė: t.y. informacijos ir prekių srautai yra tik tarp gretimų grandinės dalyvių (8 pav.)



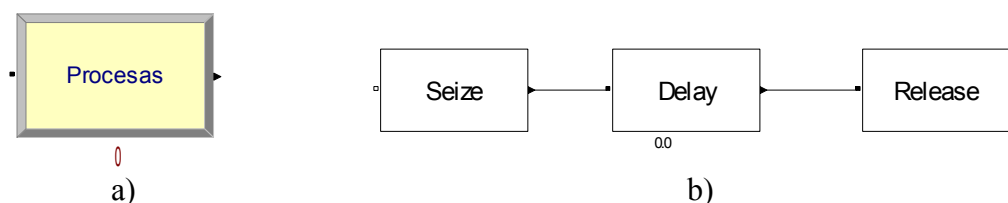
8 pav. a ir b tiekimo grandinės modeliai

c ir d modeliuose buvo analizuojama vartotojų užsakymų informacijos pateikimo visiems grandinės dalyviams įtaka mažinant neapibrėžtumo efektą. Todėl informaciją apie vartotojų užsakymus gauna visi dalyviai (9 pav.). Tokiu būdu kiekvienas grandinės dalyvis produkcijos kiekį planuoja pagal vartotojų užsakymus, o ne pagal tiesioginio pirkėjo užsakymus.



9 pav. c ir d tiekimo grandinės modeliai

Kadangi c ir d modeliai yra didesnės apimties, dėl Arena programos apribojimų (akademinei versija), jie buvo sukurti panaudojant kitokius objektus nei kad a ir b modeliai. Tačiau modelių veikimas nepakito. a ir b modeliai buvo sukurti panaudojant procesus, o c ir d – panaudojant atskirus blokus. Procesai yra blokų rinkiniai, sukurti tam tikram procesui atlikti. Kuriant modelį iš atskirų blokų, nenaudojami nereikalingi elementai (kurie būna įtraukti į procesus). Todėl gaunamas mažesnis objektų skaičius SIMAN modeliavimo kaloje. Pavyzdžiui, 10 pav. pateikiamas proceso (dažniausiai tai gamybos procesas) procesas ir šį procesą sudarantys atskiri blokai.



10 pav. Proceso procesas (a) ir procesą sudarantys blokai (b)

Procesą sudaro 3 skirtingi blokai: *Seize*, kuris rezervuoja procesui reikalingus resursus, *Delay*, kuris imituoja proceso trukmę (vėlinimą), ir *Release*, kuris atlaisvina užimtus resursus.

Kadangi visų modelių tiekimo grandinė vienoda, o skiriasi tik modeliavimo pobūdis ir panaudotos skirtingos neapibrėžtumo efekto mažinimo priemonės, todėl toliau bus bendrai pateikta modelio struktūra, atskirai išskiriant modelių skirtumus.

5.1.1 Du skirtingi tiekimo grandinės modeliai

Šiame darbe sukurti keturi skirtingi tiekimo grandinės modeliai:

- a. pirminis modelis;
- b. prekių partijų panaikinimo modelis;

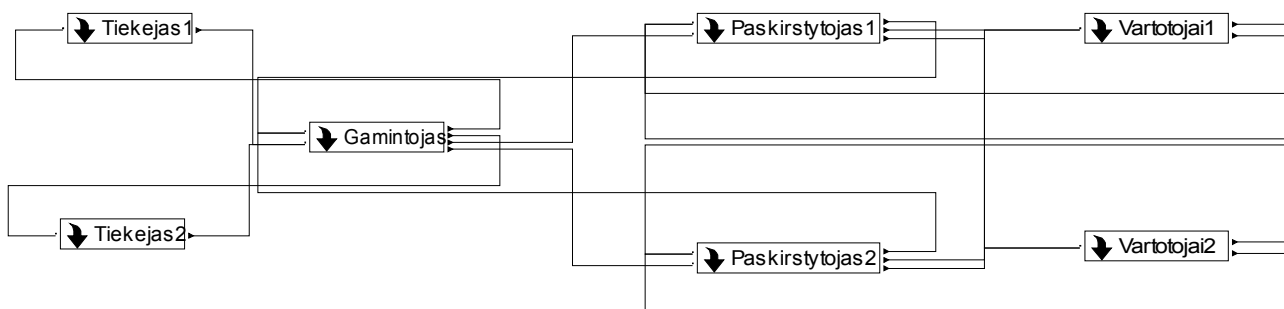
- c. vartotojų užsakymų informacijos pateikimo visiems grandinės dalyviams modelis;
- d. modelis panaudojant abi priemones.

Kadangi b ir d modeliai yra analogiški a ir c modeliams (skiriasi tik kintamųjų reikšmės), o visi grandinės dalyviai sumodeliuoti vienodai siekiant įvertinti priemonių, mažinančių neapibrėžtumo efektą efektyvumą, toliau bus išanalizuoti du skirtingi modeliai ir bendrai aprašyti visi tiekimo grandinės dalyviai. Toliau šiuos du modelius pavadinsiu atitinkamai procesų ir blokų tiekimo grandinės modeliais.

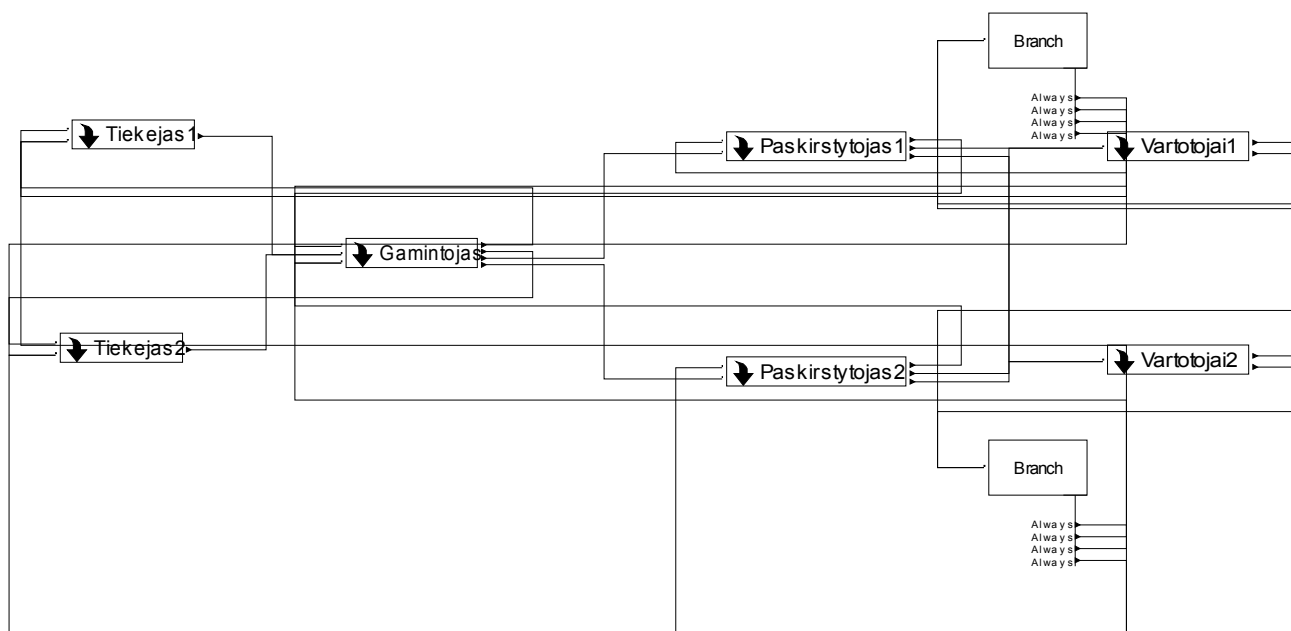
Arena programa leidžia kurti hierarchines modelio struktūras. Tai palengvina modelio supratimą ir jo analizę. Šiame darbe panaudojau tris hierarchinius modelio lygius:

1. Aukščiausias lygis – pateikia bendrą tiekimo grandinės struktūrą.
2. Vidurinis lygis – pateikia kiekvieno grandinės dalyvio struktūrą.
3. Žemiausias lygis – pateikia gamintojo gamybos procesą.

Tiekimo grandinės procesų ir blokų modelių aukščiausias hierarchinis lygis Arena modeliavimo programoje pateikti 11 ir 12 pav.



11 pav. Tiekimo grandinės procesų modelis Arena programoje



12 pav. Tiekimo grandinės blokų modelis Arena programoje

11 ir 12 pav. pateiktų modelių struktūra labai panaši. 12 pav. du *Branch* blokai pateikia vartotojų užsakymų informaciją visiems grandinės dalyviams.

Visi vartotojai sukuria užsakymus abiem paskirstytojams. *Vartotojų 1* grupė su tikimybe 0.7 sukuria užsakymus *Paskirstytojui 1*, o su tikimybe 0.3 – *Paskirstytojui 2*. *Vartotojų 2* grupė kuria užsakymus su priešingomis tikimybėmis: su tikimybe 0.7 *Paskirstytojui 2* ir su tikimybe 0.3 *Paskirstytojui 1*.

Kadangi abi vartotojų grupės generuoja panašius užsakymų srautus, *Paskirstytojas 1* ir *Paskirstytojas 2* gauna panašų užsakymų skaičių. Paskirstytojai neatlieka jokių gamybos procesų. Jie užsako produkciją pas gamintoją dideliais kiekiais ir parduoda galutiniams vartotojams pagal užsakymus.

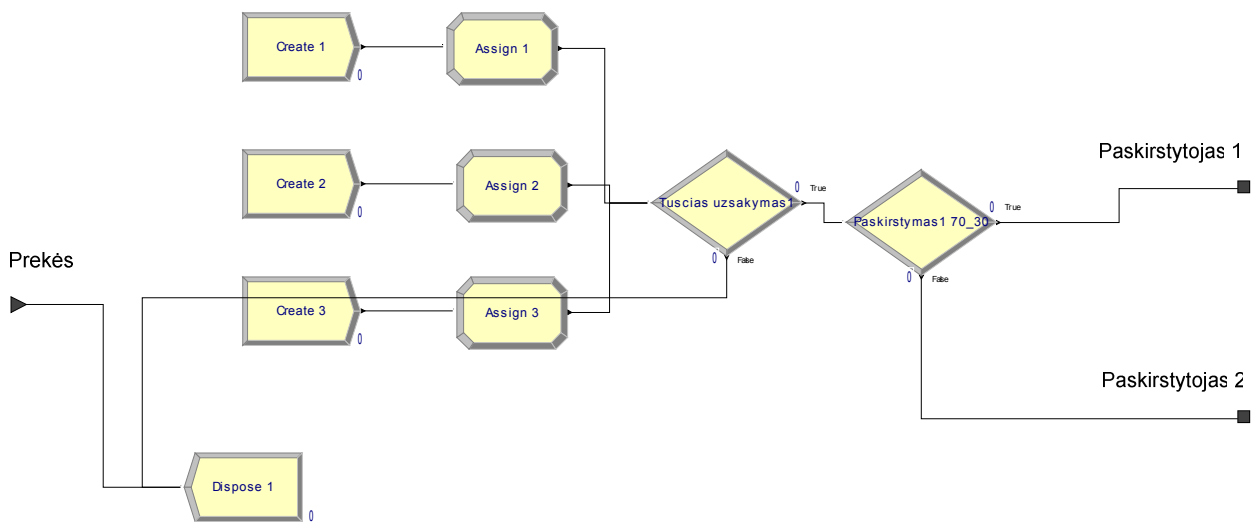
Gamintojas gamina produktus iš tiekėjų pateiktų komponentų. Šiame modelyje gamintojas pagamina produktą iš dviejų skirtingų komponentų: vieni komponentai užsakomi iš *Tiekėjo 1*, o kiti iš *Tiekėjo 2*. Modelyje komponentai pavadinti atitinkamai *komponentas 1* ir *komponentas 2*.

Tiekėjai gamina komponentus. Jų gamyba yra neribota, t.y. tiekėjai gali pagaminti be galo daug komponentų. Apribojimai yra tik gamybos tempui, nes riboti gamybos proceso resursai.

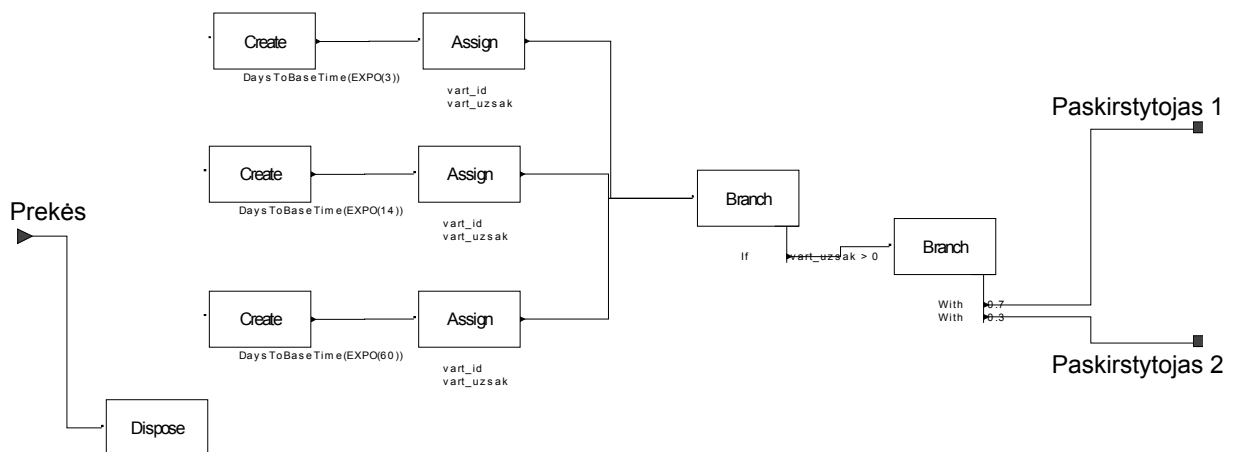
Toliau bus pateikta kiekvieno dalyvio struktūra. Siekiant paprasčiau aprašyti modelio struktūrą, toliau bus pateikiami ne priskirti elementams pavadinimai, o jų pavadinimai pagal Arena modeliavimo programą.

5.1.1.1 Vartotojai

Šiame modelyje vartotojai – tai vartotojų grupės, o ne du atskiri vartotojai. Vartotojų vienintelė užduotis – generuoti užsakymus. Kiekviena vartotojų grupė generuoja tris skirtingus užsakymų srautus (13 ir 14 pav.). Užsakymų pasiskirstymai bus pateikti vėliau.



13 pav. Vartotojų grupės struktūra procesų modelyje



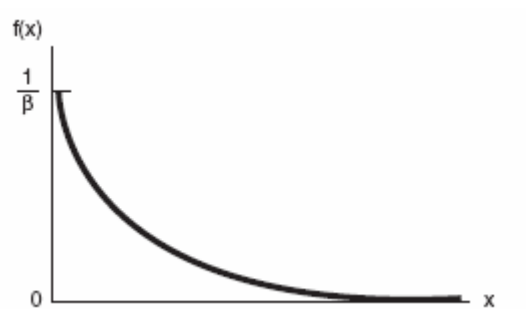
14 pav. Vartotojų grupės struktūra blokų modelyje

Create 1, *Create 2* ir *Create 3* sukuria tris užsakymų subjektus (*angl. entity*). Šie elementai apsprendžia laiko tarp užsakymų pasiskirstymą (dėsnį ir jo parametrus). Šiame darbe buvo analizuoti du pasiskirstymo dėsniai – eksponentinis (2 formulė) ir normalusis (3 formulė):

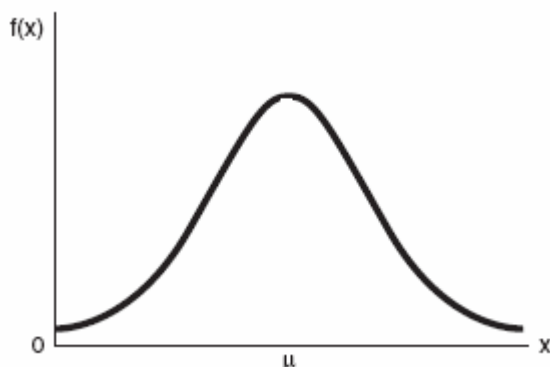
$$P(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot x}, \quad (2)$$

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}. \quad (3)$$

Šių pasiskirstymo dėsnų tikimybės tankio funkcija pateikta atitinkamai 15 ir 16 pav.



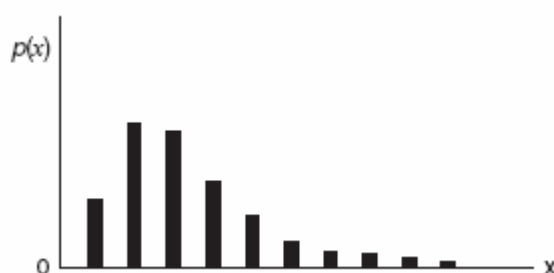
15 pav. Eksponentinio pasiskirstymo dėsnio tikimybės tankio funkcija (EXPO(β))



16 pav. Normaliojo pasiskirstymo dėsnio tikimybės tankio funkcija (NORM(μ , σ))

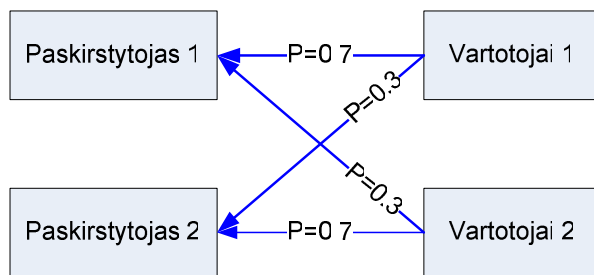
Assign 1, *Assign 2* ir *Assign 3* sukuria produktų skaičių vienam užsakymui pagal pasirinktą pasiskirstymą ir sukuria vartotojų grupės žymę, kad vėliau būtų galima identifikuoti, kurios tai grupės užsakymas. Darbe buvo analizuotas puasoninis produktų skaičiaus pasiskirstymas (pasiskirstymo funkcija pateikta 17 pav.):

$$P(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} . \quad (4)$$



17 pav. Puasoninis pasiskirstymo dėsnis (POIS(λ))

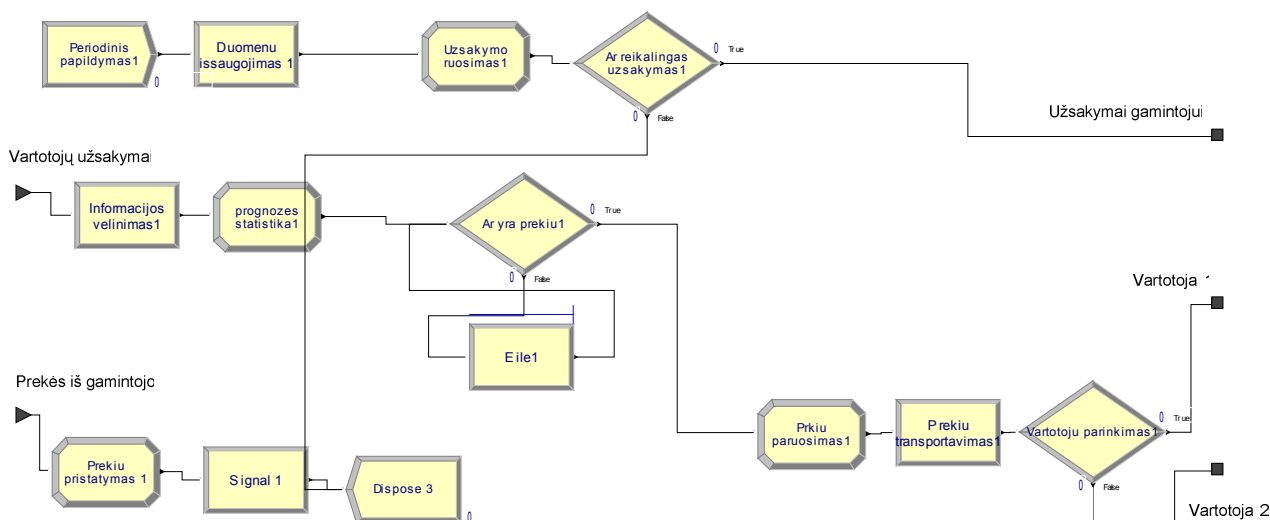
Toliau esantys du sprendimo elementai panaikina užsakymus su nuliniu produktų skaičiumi (pirmasis sprendimo elementas) ir pagal pasirinktą tikimybę (0.7 ir 0.3) išsiunčia užsakymus *Paskirstytojui 1* ir *Paskirstytojui 2*. *Vartotojų 1* grupė su tikimybe 0.7 siunčia užsakymus *Paskirstytojui 1*, o *Vartotojų 2* grupė – su tikimybe 0.7 *Paskirstytojui 2* (18 pav.).



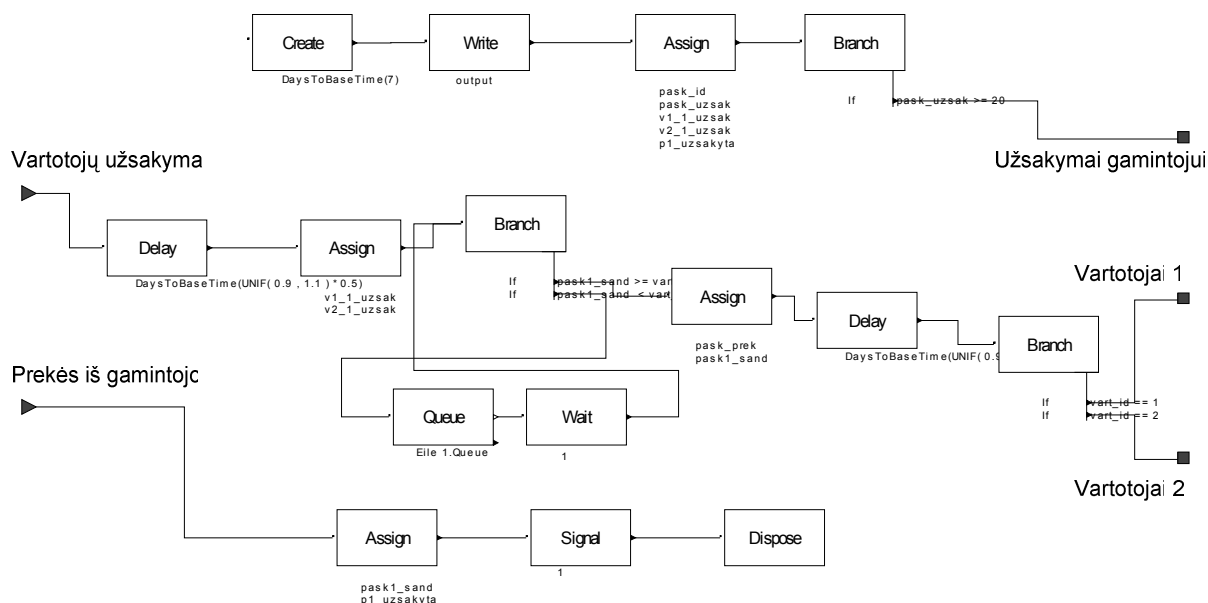
18 pav. Tikimybinis vartotojų užsakymų pasiskirstymas

5.1.1.2 Paskirstytojai

Paskirstytojai neatlieka jokios gamybos. Jie užsako iš gamintojo prekes dideliais kiekiais ir parduoda jas vartotojams pagal užsakymus. T.y. atlieka prekių paskirstymą. Paskirstytojo struktūra pateikta 19 ir 20 pav.



19 pav. Paskirstytojo struktūra procesų modelyje



20 pav. Paskirstytojo struktūra blokų modelyje

Gauti užsakymai iš vartotojų yra vėlinami informacijos vėlinimo elemente (*Informacijos vėlinimas 1* arba *Delay*). Šis elementas imituoja informacijos vėlinimą, susijusį su užsakymų apdorojimu. Tolimesnis *Assign* elementas skirtas statistikos surinkimui ir užsakymų prognozavimui. Ši informacija vėliau panaudojama prekių užsakymui iš gamintojo ir pateikiama rezultatuose. Toliau esantis sprendimo elementas patikrina ar paskirstytojo sandėlyje yra pakankamai prekių, kad įvykdytų vartotojo užsakymą. Jeigu prekių pakanka, užsakymas vykdomas, o jeigu nepakanka, vartotojo užsakymas yra statomas į eilę (*Eilė 1* arba *Queue*), kol bus papildytas paskirstytojo sandėlis. Šiame modelyje darome prielaidą, kad vartotojai yra lojalūs ir sutinka laukti, kol bus įvykdytas jų užsakymas. Esant pakankamai prekių sandėlyje, *Assign* elemente yra suformuojamas prekių siuntinys (užsakymas pakeičiamas į prekių pristatymą ir atitinkamu lygiu sumažinamas paskirstytojo sandėlio lygis), *Delay* elementas imituoja prekių pristatymo vartotojui trukmę, o sprendimo elementas nukreipia prekes tai vartotojų grupei, iš kurios gavo užsakymą (pagal vartotojo ID).

Paskirstytojas periodiškai tikrina sandėlio lygį ir prognozuoja būsimą vartotojų užsakymų srautą ateityje. Jeigu turimų atsargų nepakanka ateities užsakymams įvykdyti, paskirstytojas užsako reikiamą prekių kiekį iš gamintojo. *Create* elementas generuoja periodinio tikrinimo periodus. *Write* elementas išsaugo rezultatus faile tolimesnei analizei. Šiuo atveju išsaugoma tokia informacija:

- *Vartotojų 1* užsakymų skaičius per periodą;
- *Vartotojų 2* užsakymų skaičius per periodą;
- paskirstytojo sandėlio lygis periodo pradžioje;
- užsakymų skaičius paskirstytojo eilėje periodo pradžioje;
- užsakytų prekių skaičius laukiančių užsakymų eilėje periodo pradžioje.

Toliau *Assign* elemente yra apskaičiuojamas reikalingų prekių sekančiam periodui kiekis, suteikiamas paskirstytojo ID, išvalomi statistinių kintamųjų registrai ir pasižymima, kiek užsakytų prekių gamintojui dar neatvyko (kad nebūtų dubliuojama užsakymų dėl vėluojančio prekių pristatymo). Reikalingų užsakyti prekių skaičius apskaičiuojamas pagal tokią formulę:

$$pask_uzsak = (a \cdot \text{int}(((v1_x_uzsak + v2_x_uzsak) \cdot 2 - paskx_sand - px_uzsakyta + SAQUE(Eilex.Queue, NSYM(var t_uzsak)))) \cdot 1.9 / 20) + 1) \cdot 20 \quad (5)$$

Šioje formulėje:

$v1_x_uzsak$ ir $v2_x_uzsak$ – *Vartotojų 1* ir *Vartotojų 2* užsakymai x paskirstytojui per periodą;

$paskx_sand$ – paskirstytojo x sandėlio lygis;

$px_uzsakyta$ – užsakytų, tačiau dar nepristatytų prekių iš gamintojo skaičius;

$SAQUE(Eilex.Queue, NSYM(vart_uzsak))$ – paskaičiuoja užsakytų prekių skaičių, laukiantį eilėje.

5 formulėje vartotojų užsakymai yra dauginami todėl, kad prekių skaičių reikia skaičiuoti visam prekių pristatymo laikotarpiui, kuris yra dvigubai ilgesnis už periodinio tikrinimo laikotarpį. *Aint* funkcija suapvalina užsakymų skaičių iki sveikąjį skaičių į mažesnę pusę. $SAQUE(Eilex.Queue, NSYM(vart_uzsak))$ funkcijos pagalba yra paskaičiuojamas neįvykdytų užsakymų (laukiančių eilėje) užsakytų prekių skaičius. Daugiklis 1.9 padidina 90 proc. reikiamą prekių kiekį dėl prekių pristatymo ir vartotojų užsakymų svyravimo rizikos. Šis skaičius gautas bandymų metu siekiant užtikrinti atitinkamą vartotojų aptarnavimo lygį (iki tam tikro lygio sumažinti laukiančių eilėje užsakymų skaičių). Šioje formulėje skaičius 20 suformuoja prekių užsakymą partijomis po 20 vnt. Šis skaičius naudojamas tik a ir c modeliuose (žr. *anksčiau pateiktą modelių suskirstymą*). b ir d modeliuose šio skaičiaus visai nėra, kadangi užsakoma yra ne partijomis, t.y. užsakoma tiek prekių, kiek realiai reikia. Todėl šiems modeliams užsakomų prekių kiekis apskaičiuojamas pagal tokią formulę:

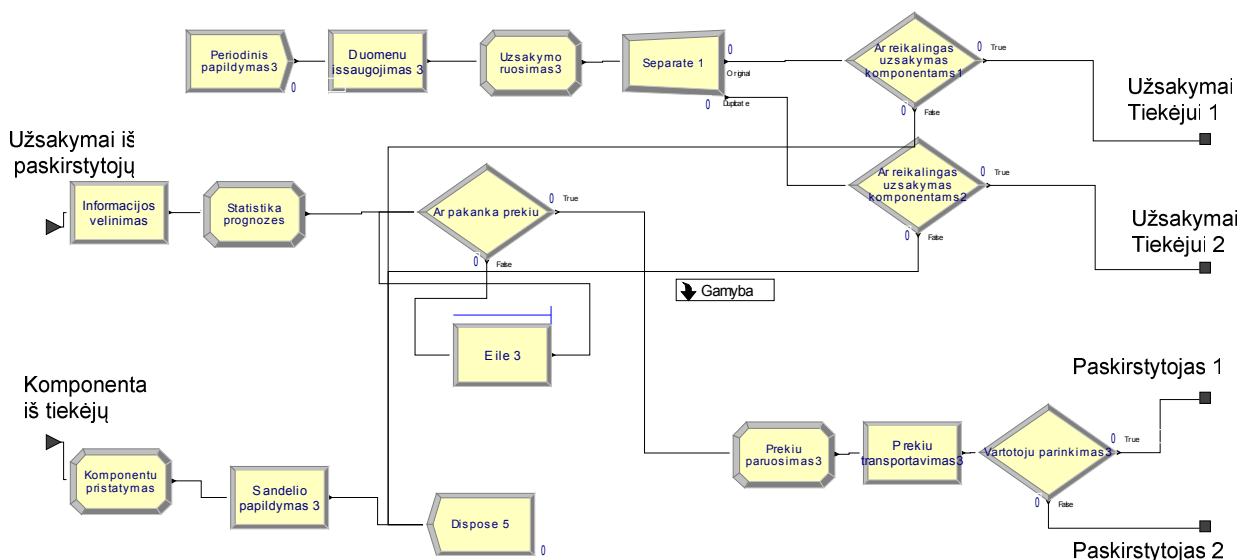
$$\begin{aligned} pask_uzsak = a \cdot \text{int}(((v1_x_uzsak + v2_x_uzsak) \cdot 2 - paskx_sand - \\ - px_uzsakyta + SAQUE(Eilex.Queue, NSYM(vart_uzsak))) \cdot 1.9) + 1 \end{aligned} \quad (6)$$

Toliau esantis sprendimo elementas patikrina, ar reikalingas prekių užsakymas: patikrina ar teigiamas užsakomų prekių kiekis. Jeigu užsakymas reikalingas, jį išsiunčia gamintojui, o jeigu nereikalingas – sunaikina.

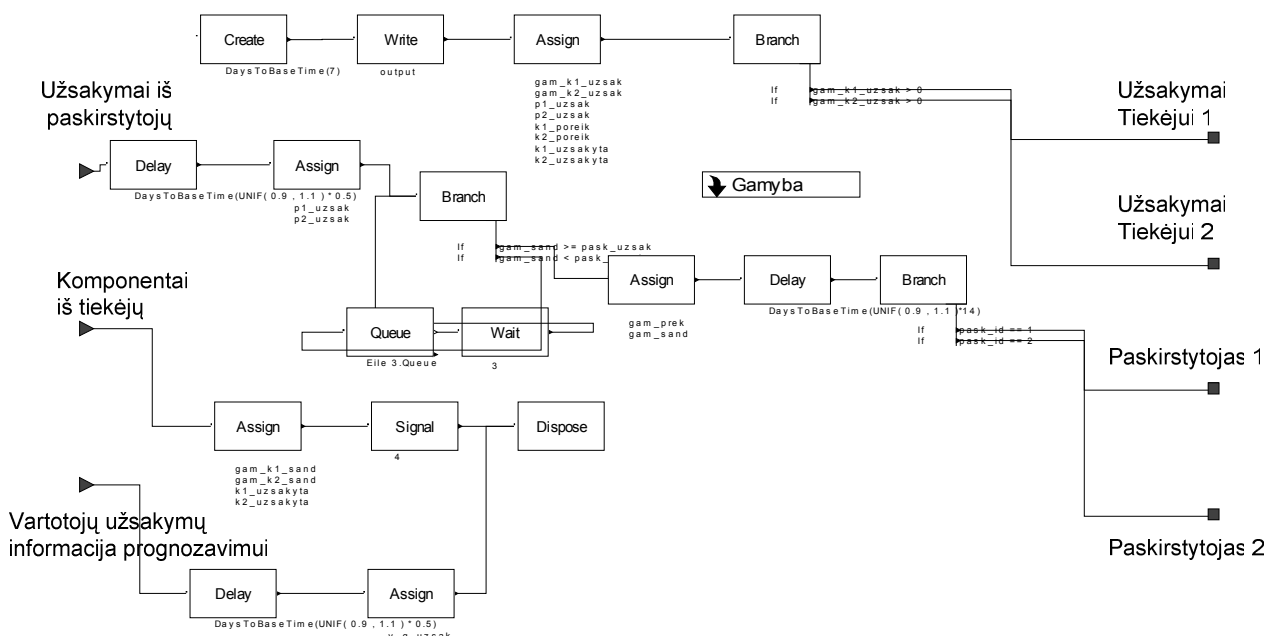
Atvykusios iš gamintojo prekės pirmiausiai patenka į *Assign* elementą. Jame yra padidinamas paskirstytojo sandėlio lygis ir sumažinamas neįvykdytų užsakymų skaičius (užsakymų, kurie buvo išsiųsti, bet nepristatytos prekės). *Signal* elementas sugeneruoja signalą eilėje esantiems vartotojų užsakymams, kad sandėlio lygis papildytas ir tada pradedamas šių užsakymų vykdymas.

5.1.1.3 Gamintojas

Gamintojas atlieka prekių gamybą iš komponentų, užsako komponentus iš tiekėjų ir parduoda prekes paskirstytojams. Gamintojo struktūra pateikta 21 ir 22 pav.



21 pav. Gamintojo struktūra procesų modelyje



22 pav. Gamintojo struktūra blokų modelyje

Šio dalyvio abu modeliai jau skiriasi, kadangi naudojama skirtinga užsakymų informacija reikalingo prekių kiekio prognozavimui: pirmasis modelis naudoja tiesioginio pirkėjo užsakymų informaciją, o antrasis – galutinio vartotojo užsakymų informaciją.

Užsakymų priėmimas iš paskirstytojų ir prekių išsiuntimas yra analogiški paskirstytojo struktūrai. Čia tik naudojami kiti kintamieji (susiję su gamintoju) ir *Assign* elemente dar skaičiuojama papildoma informacija gamybos proceso prognozavimui (21 pav. *Statistika prognozės* elementas).

22 pav. užsakymų priėmimo ir prekių išsiuntimas skiriasi nuo 21 pav. pateiktos struktūros tuo, kad čia nereikalingi kintamieji poreikio prognozavimui (nes prognozavimas yra atliekamas pagal galutinio vartotojo informaciją).

Periodinio komponentų sandėlių lygio patikrinimo procesas yra analogiškas paskirstytojo prekių sandėlio lygio patikrinimui. Gamintojo atveju yra naudojami kiti kintamieji, išsaugoma daugiau informacijos faile ir užsakymas yra formuojamas ne vienam, bet dviem tiekėjams. *Write* elemente, į failą yra įrašomi tokie duomenys:

- *Paskirstytojo 1* užsakymų skaičius per periodą;
- *Paskirstytojo 2* užsakymų skaičius per periodą;
- gamintojo sandėlio lygis periodo pradžioje;
- gamintojo *komponentų 1* sandėlio lygis periodo pradžioje;
- gamintojo *komponentų 2* sandėlio lygis periodo pradžioje;
- užsakymų skaičius gamintojo eilėje periodo pradžioje;
- užsakytų prekių skaičius laukiančių užsakymų eilėje periodo pradžioje.

Assign elemente paskaičiuojamas reikalingų užsakyti komponentų kiekis, išvalomi statistikos registrai ir atnaujinama užsakytų, bet dar nepristatytų komponentų informacija. Reikalingų užsakyti komponentų skaičius apskaičiuojamas pagal tokias formules:

$$gam_k1_uzsak = (aint((k1_poreik \cdot 2 - gam_k1_sand - k1_uzsakyta + SAQUE(Eile8.Queue, NSYM(pask_uzsak))) \cdot 1.3 / 40) + 1) \cdot 40 \quad (7)$$

$$gam_k2_uzsak = (aint((k2_poreik \cdot 2 - gam_k2_sand - k1_uzsakyta + SAQUE(Eile8.Queue, NSYM(pask_uzsak))) \cdot 2) \cdot 1.3 / 80) + 1) \cdot 80 \quad (8)$$

Šiose formulėse:

k1_poreik ir *k2_poreik* – komponentų poreikis per periodą;

gam_kx_sand – gamintojo *x* komponentų sandėlio lygis;

kx_uzsakyta – užsakytų, tačiau dar nepristatytų komponentų iš tiekėjų skaičius;

SAQUE(Eile8.Queue, NSYM(pak_uzsak)) – paskaičiuoja užsakytų prekių skaičių, laukiantį eilėje.

Formulėse 7 ir 8 komponentų poreikiai yra dauginami todėl, kad komponentų skaičių reikia skaičiuoti visam pristatymo laikotarpiui, kuris yra dvigubai ilgesnis už periodinio tikrinimo laikotarpį. *Aint* funkcija suapvalina užsakymų skaičių iki sveikojo skaičiaus į mažesnę pusę. *SAQUE(Eile8.Queue, NSYM(pask_uzsak))* funkcijos pagalba yra paskaičiuojamas neįvykdytų užsakymų (laukiančių eilėje) užsakytų prekių skaičius. 8 formulėje ši funkcija yra padauginta iš 2 todėl, kad pagal analizuojamą gamybos procesą, vienos prekės pagaminimui reikalingas vienas komponentas 1 ir du komponentai 2. Daugiklis 1.3 padidina 30 proc. reikiamą komponentų kiekį dėl jų pristatymo ir paskirstytojų užsakymų svyravimo rizikos. Šiose formulėse skaičiai 40 ir 80 suformuoja komponentų užsakymą partijomis atitinkamai po 40 ir 80 vnt. Šis skaičius naudojamas tik a ir c modeliuose (žr. *anksčiau pateiktą modelių suskirstymą*). b ir d modeliuose šio skaičiaus visai nėra, kadangi užsakoma yra ne partijomis, t.y. užsakoma tiek komponentų, kiek realiai reikia:

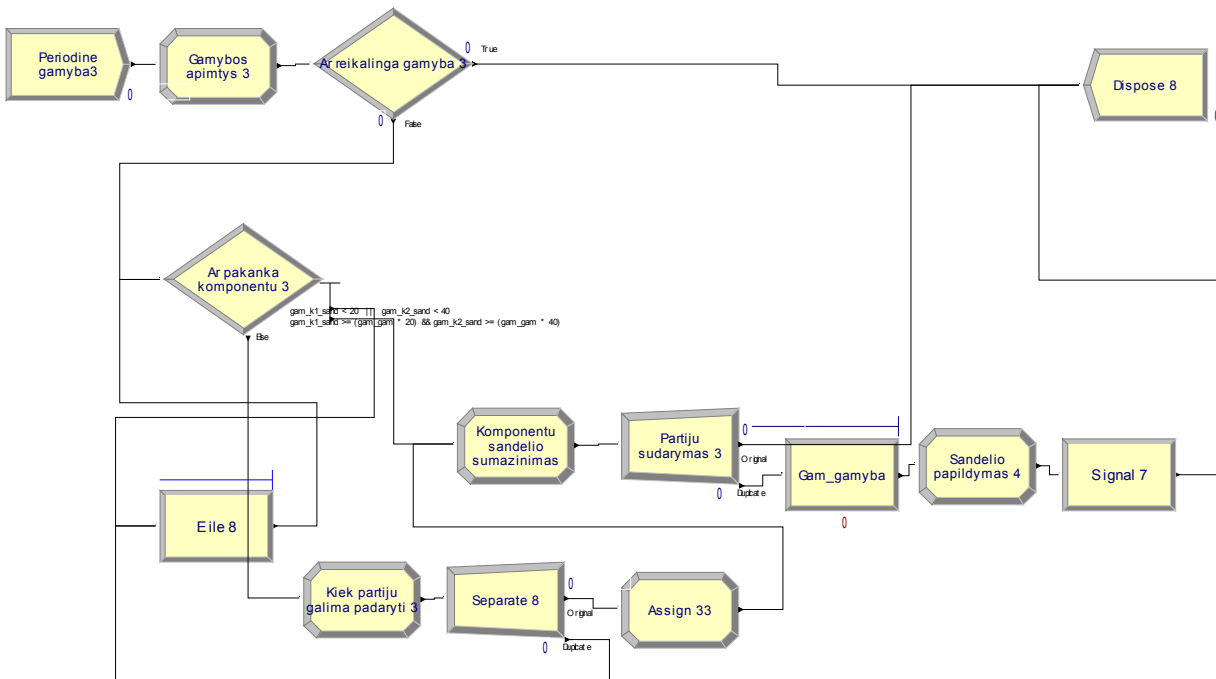
$$gam_k1_uzsak = a \text{ int}((k1_poreik \cdot 2 - gam_k1_sand - k1_uzsakyta + SAQUE(Eile8.Queue, NSYM(pask_uzsak))) \cdot 1.3) + 1 \quad (9)$$

$$gam_k2_uzsak = a \text{ int}((k2_poreik \cdot 2 - gam_k2_sand - k1_uzsakyta + SAQUE(Eile8.Queue, NSYM(pask_uzsak))) \cdot 2) \cdot 1.3) + 1 \quad (10)$$

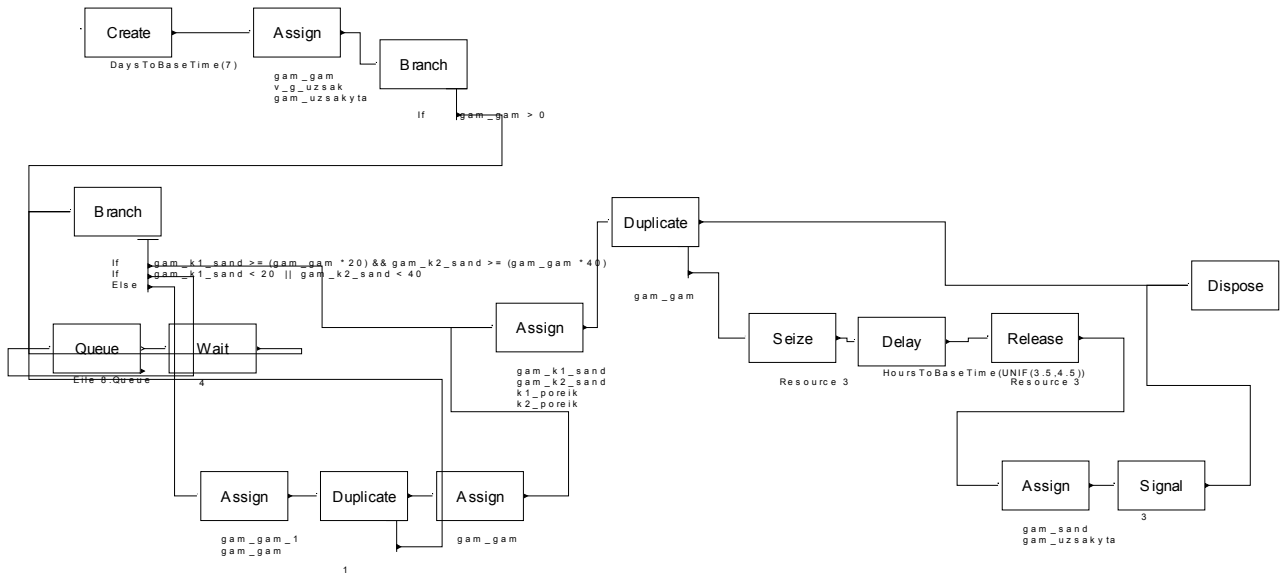
Komponentų pristatymas iš tiekėjų yra analogiškas aukščiau aprašytam prekių pristatymui paskirstytojui. *Assign* elemente padidinami komponentų sandėlių lygiai ir sumažinamas nepristatytų komponentų skaičius. Skiriasi tik *Signal* sugeneruotas signalas. Gamintojo atveju signalas yra sugeneruojamas ne eilėje laukiantiems paskirstytojų užsakymams, bet gamybos procesui, kad atvyko prekių gamybai trūkstami komponentai.

22 pav. gamintojo sistemoje yra dar vienas įėjimas – tai galutinių vartotojų užsakymų informacija, reikalinga gamybos ir komponentų užsakymo procesų prognozavimui. *Delay* elementas (analogiškas anksčiau aptartiems) imituoja informacijos vėlinimą, susijusį su jos apdorojimu, o *Assign* elementas paskaičiuoja vartotojų užsakymų skaičių, naudojamą prognozavimui.

Kad būtų paprasčiau analizuoti gamintojo struktūrą, gamybos procesas pateikiamas žemesniame hierarchijos lygyje. Jis yra patalpintas *Gamyba* elemente (21, 22 pav.). Gamybos proceso struktūra pateikta 23 ir 24 pav.



23 pav. Gamybos procesas procesų modelyje



24 pav. Gamybos procesas blokų modelyje

Gamybos procese *Create* elementas generuoja periodinį gamybos procesą. Toliau *Assign* elemente paskaičiuojamas reikalingos pagaminti produkcijos kiekis, išvalomi prognozavimo informacijos registrai ir atnaujinama paruoštos gamybai, bet nepagamintos produkcijos informacija. Reikalingos gaminti produkcijos kiekis apskaičiuojamas pagal tokias formules:

$$gam_gam = a \text{ int}((p_g_uzsak - gam_sand - gam_uzsakyta + SAQUE(Eile3.Queue, NSYM(pask_uzsak))) \cdot 1.5 / 20) + 1 \quad (11)$$

$$gam_gam = a \text{ int}((v_g_uzsak - gam_sand - gam_uzsakyta + SAQUE(Eile3.Queue, NSYM(pask_uzsak))) \cdot 1.5 / 20) + 1 \quad (12)$$

Šiose formulėse:

p_g_uzsak – paskirstytojų užsakymų skaičius per periodą;

v_g_uzsak – vartotojų užsakymų skaičius per periodą;

gam_sand – gamintojo prekių sandėlio lygis;

$gam_uzsakyta$ – užsakytų, tačiau dar nepagamintų prekių skaičius;

$SAQUE(Eile3.Queue, NSYM(pak_uzsak))$ – paskaičiuoja užsakytų prekių skaičių, laukiantį eilėje

Formulės 11 ir 12 skiriasi tuo, kad jose produkcijos kiekio apskaičiavimui naudojama skirtinga užsakymų informacija: 11 formulėje – paskirstytojų užsakymai, o 12 formulėje – galutinių vartotojų užsakymai. Todėl 11 formulė naudojama procesų modeliuose, o 12 formulė blokų modeliuose. Šiose formulėse paskaičiuojamas ne reikalingos pagaminti produkcijos skaičius, bet partijų skaičius. *Aint* funkcija suapvalina produkcijos skaičių iki sveikojo skaičiaus į mažesnę pusę. $SAQUE(Eile3.Queue, NSYM(pask_uzsak))$ funkcijos pagalba yra paskaičiuojamas neįvykdytų užsakymų (laukiančių eilėje) užsakytų prekių skaičius. Daugiklis 1.5 padidina 50 proc. reikiamą produkcijos kiekį dėl paskirstytojų ir vartotojų užsakymų svyravimo rizikos. Šioje formulėje skaičius 20 suformuoja produkcijos gamybą partijomis po 20 vnt.

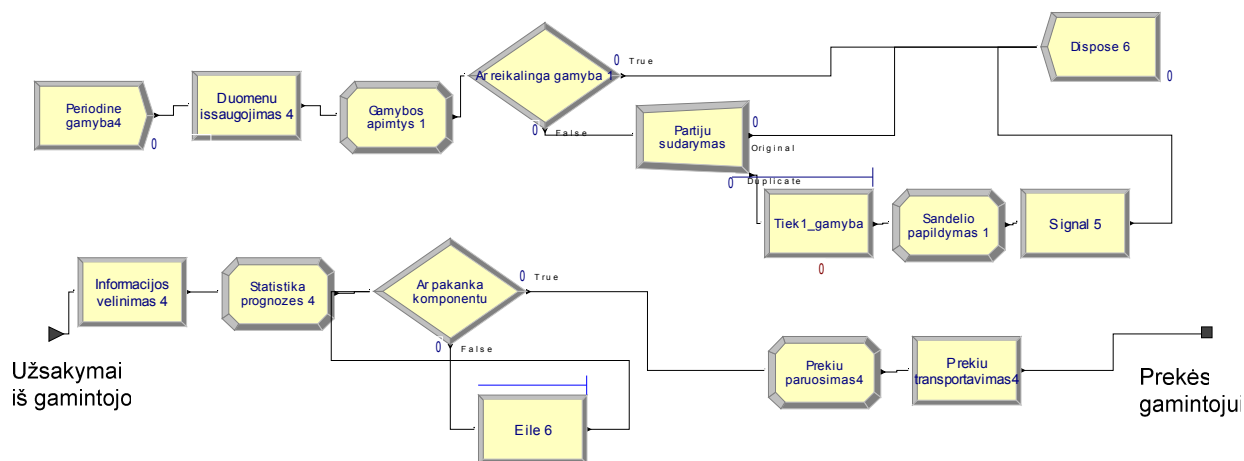
Toliau esantis sprendimo elementas patikrina, ar reikalinga gamyba, t.y. ar partijų skaičius yra teigiamas. Jeigu gamyba reikalinga, sprendimo elementas patikrina komponentų sandėlių lygį:

1. Jeigu pakanka komponentų sandėliuose reikalingam produkcijos kiekiui (visoms partijoms), organizuojama prekių gamybą.
2. Jeigu nepakanka komponentų nei vienai partijai, informacija yra statoma į eilę (*Eile 3* arba *Queue*), kol atvyks trūkstami komponentai.
3. Jeigu komponentų pakanka tik daliai produkcijos kiekio (daliai partijų), gamybos partijų skaičius suskaldomas į dvi dalis (*Duplicate* elementas): dalis, kuriai pakanka komponentų, yra siunčiama gamybai (*Assign* elementas), o kita dalis statoma į eilę, kol atvyks trūkstami komponentai (*Eile 3* arba *Queue*).

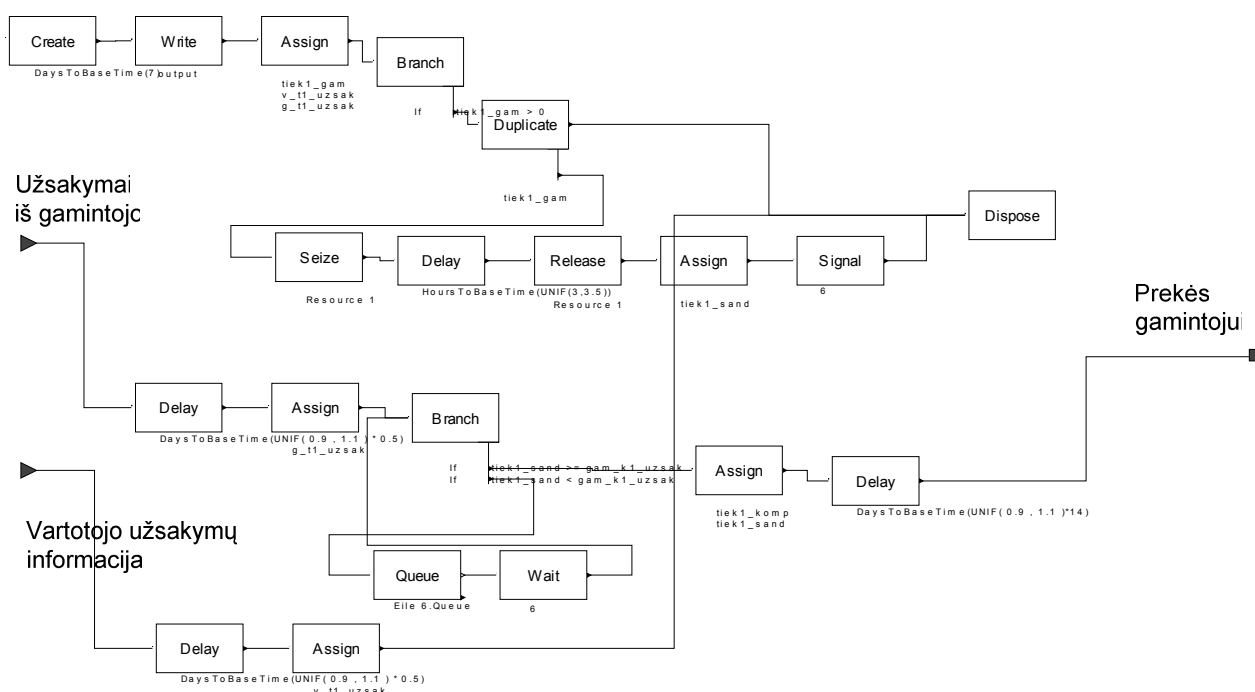
Toliau gamybos procese esantis *Assign* elementas sumažina komponentų sandėlių lygį ir padidina užsakytos gamybos kiekį. *Duplicate* elementas suskaido reikiamą gaminti produkcijos kiekį į atskiras partijas (kad užsakymai gamintojo eilėje būtų vykdomi ne pasibaigus visam gamybos procesui, o iš karto po pirmos partijos pagaminimo). Toliau eina pats gamybos procesas. 23 pav. jis atvaizduotas vienu elementu, o 24 pav. trimis. Tačiau principas tas pats: gamybos resursų rezervavimas, vėlinimas, imituojantis patį gamybos procesą ir resursų atlaisvinimas. Tuomet *Assign* elemente padidinamas prekių sandėlio lygis, sumažinamas nepagamintos produkcijos kiekis, o *Signal* elementas sugeneruoja signalą gamintojo eilėje (21, 22 pav.) esantiems paskirstytojų užsakymams, kad pasipildė gamintojo sandėlis.

5.1.1.4 Tiekėjai

Tiekėjai atlieka komponentų gamybą ir pagal užsakymą pateikia juos gamintojui. Modelyje yra dviejų rūšių komponentai: *komponentai 1* ir *komponentai 2*. Juos atitinkamai gamina *Tiekėjas 1* ir *Tiekėjas 2*. Šiame modelyje tiekėjai skiriasi su gamintojo tuo, kad tiekėjams nereikia papildyti jokių resursų atliekant gamybos procesą. Daroma prielaida, kad tiekėjai gali pagaminti neribotą komponentų skaičių. Riboti yra tik tiekėjo gamybos proceso resursai, t.y. ribota komponentų pateikimo sparta. Tiekėjų struktūra pateikta 25 ir 26 pav.



25 pav. Tiekėjo struktūra procesų modelyje



26 pav. Tiekėjo struktūra blokų modelyje

Čia, kaip ir gamintojo atveju, abu modeliai skiriasi dėl to, kad naudojama skirtinga užsakymų informacija komponentų kiekio prognozavimui. Antrame modelyje (26 pav.) tiekėjas papildomai gauna informaciją apie galutinio vartotojo užsakymus.

Užsakymų priėmimas iš gamintojo ir prekių išsiuntimas yra analogiški paskirstytojo struktūrai. Čia tik naudojami kiti kintamieji (susiję su tiekėju).

26 pav. užsakymų priėmimo ir komponentų išsiuntimas skiriasi nuo 25 pav. pateiktos struktūros tuo, kad čia nereikalingi kintamieji poreikio prognozavimui (nes prognozavimas yra atliekamas pagal galutinio vartotojo informaciją).

Periodinės komponentų gamybos procesas yra gamintojo gamybos proceso ir periodinio komponentų užsakymo derinys. Pirmieji keturi elementai analogiški gamintojo komponentų periodiniam užsakymui: sukuriamas periodinis gamybos procesas (*Create*), duomenys surašomi į

failą (*Write*), apskaičiuojamas reikalingas pagaminti komponentų kiekis ir išvalomi statistiniai registrai (*Assign*), patikrinama, ar reikalinga komponentų gamyba (sprendimo elementas). Komponentų kiekis apskaičiuojamas pagal tokias formules:

$$\begin{aligned} \text{tiek1_gam} = & a \text{int}(((g_t1_uzsak) - \text{tiek1_sand} + \\ & + \text{SAQUE}(\text{Eile6.Queue}, \text{NSYM}(\text{gam_k1_uzsak}))) / 80) + 1 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{tiek2_gam} = & a \text{int}(((g_t2_uzsak) - \text{tiek2_sand} + \\ & + \text{SAQUE}(\text{Eile7.Queue}, \text{NSYM}(\text{gam_k2_uzsak}))) / 160) + 1 \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{tiek1_gam} = & a \text{int}(((v_t1_uzsak) - \text{tiek1_sand} + \\ & + \text{SAQUE}(\text{Eile6.Queue}, \text{NSYM}(\text{gam_k1_uzsak}))) / 80) + 1 \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \text{tiek2_gam} = & a \text{int}(((v_t2_uzsak) - \text{tiek2_sand} + \\ & + \text{SAQUE}(\text{Eile7.Queue}, \text{NSYM}(\text{gam_k2_uzsak}))) / 160) + 1 \end{aligned} \quad (16)$$

Šiose formulėse:

g_tx_uzsak – gamintojo užsakymų skaičius x tiekėjui per periodą;

v_tx_uzsak – vartotojų užsakymų skaičius per periodą, skaičiuojamas x tiekėjo;

tiekx_sand – x tiekėjo komponentų sandėlio lygis;

$\text{SAQUE}(\text{Eilex.Queue}, \text{NSYM}(\text{pak_uzsak}))$ – paskaičiuoja užsakytų komponentų skaičių, laukiantį eilėje

Formulės 13 ir 14 yra atitinkamai *Tiekėjo 1* ir *Tiekėjo 2* komponentų gamybos kiekio paskaičiavimo formulės procesų modeliuose, o 15 ir 16 formulės – blokų modeliuose. Čia komponentų partijos yra sudaromos iš 80 (*komponentas 1*) ir 160 (*komponentas 2*) vienetų. Kadangi produkcijos apimtys didesnės, todėl čia rizika neįvertinama.

Toliau pati gamyba yra analogiška gamintojo prekių gamybai. *Signal* elemente signalas sugeneruojamas tiekėjo eilėje laukiantiems komponentų užsakymams, kad pasipildė komponentų sandėlis.

26 pav. vartotojų užsakymų informacijos apdorojimas gamybos prognozavimui yra analogiškas 22 pav. pateiktoje gamintojo struktūroje.

5.1.2 Vartotojų užsakymų pasiskirstymo dėsniai

Šiame darbe buvo analizuota dviejų vartotojų užsakymų pasiskirstymo dėsnų įtaka neapibrėžtumo efektui ir jo mažinimo priemonėms:

- eksponentinis užsakymų pasiskirstymas;
- normalusis užsakymų pasiskirstymas.

Analizuotos tiekimo grandinės, kai trukmės tarp vartotojų užsakymų pasiskirsčiusios pagal atitinkamus dėsnius. Prekių skaičius vienam užsakymui buvo vienodas abiem atvejais ir pasiskirstęs pagal puasoninį skirstinį.

Dėl dviejų skirtingų užsakymų pasiskirstymų buvo analizuoti aštuoni skirtingi tiekimo grandinės modeliai. gauti rezultatai pateikiami sekančiame skyriuje.

5.1.3 Modelių kintamieji

Šioje dalyje pateikiami naudotų kintamųjų ir subjektų (*angl. entity*) bruožų sąrašai. Modeliuose buvo naudoti tokie kintamieji:

- *v1_1_uzsak* – pirmos vartotojų grupės užsakymai *Paskirstytojui 1*.
- *v1_2_uzsak* – pirmos vartotojų grupės užsakymai *Paskirstytojui 2*.
- *v2_1_uzsak* – antros vartotojų grupės užsakymai *Paskirstytojui 1*.
- *v2_2_uzsak* – antros vartotojų grupės užsakymai *Paskirstytojui 2*.
- *pask1_sand* – *Paskirstytojo 1* prekių sandėlis.
- *pask2_sand* – *Paskirstytojo 2* prekių sandėlis.
- *p1_uzsak* – *Paskirstytojo 1* užsakymai gamintojui.
- *p2_uzsak* – *Paskirstytojo 2* užsakymai gamintojui.
- *gam_sand* – gamintojo prekių sandėlis.
- *gam_k1_sand* – gamintojo *komponentų 1* sandėlis.
- *gam_k2_sand* – gamintojo *komponentų 2* sandėlis.
- *tiek1_sand* – *Tiekėjo 1* komponentų sandėlis.
- *tiek2_sand* – *Tiekėjo 2* komponentų sandėlis.
- *p_g_uzsak* – paskirstytojų užsakymai gamintojui.
- *g_t1_uzsak* – gamintojo užsakymai *Tiekėjui 1*.
- *g_t2_uzsak* – gamintojo užsakymai *Tiekėjui 2*.
- *k1_poreik* – *komponentų 1* poreikis gamintojo gamybos procese.
- *k2_poreik* – *komponentų 2* poreikis gamintojo gamybos procese.
- *p1_uzsakyta* – *Paskirstytojo 1* užsakytos, bet nepristatytos prekės.
- *p2_uzsakyta* – *Paskirstytojo 2* užsakytos, bet nepristatytos prekės.
- *k1_uzsakyta* – gamintojo užsakyti, bet nepristatyti *komponentai 1*.
- *k2_uzsakyta* – gamintojo užsakyti, bet nepristatyti *komponentai 2*.
- *gam_uzsakyta* – gamintojo paruošta, bet nepabaigta prekių gamyba.

Be šių kintamųjų, informacijos apie vartotojų užsakymą pateikimo visiems grandinės dalyviams modeliuose papildomai buvo naudoti šie kintamieji:

- *v_g_uzsak* – vartotojų užsakymų informacija pateikta gamintojui.
- *v_t1_uzsak* – vartotojų užsakymų informacija pateikta *Tiekėjui 1*.
- *v_t2_uzsak* – vartotojų užsakymų informacija pateikta *Tiekėjui 2*.

Modelyje sukuriama subjektai (*angl. entity*) turi savo bruožus (*angl. attribute*). Atliekant imitacinį tiekimo grandinės modeliavimą, buvo naudoti tokie subjektų bruožai:

- *var_id* – vartotojų grupės identifikatorius.
- *var_uzsak* – vartotojo užsakomų prekių kiekis (viename užsakyme).
- *pask_id* – paskirstytojo identifikatorius.
- *pask_prek* – užsakymas pakeičiamas į vartotojui siunčiamas paskirstytojo prekes.
- *pask_uzsak* – paskirstytojo užsakomų prekių kiekis (viename užsakyme).
- *gam_gam* – reikalingos gamintojui pagaminti prekių partijų skaičius.
- *gam_gam_1* – partijų skaičius, kuriam pagaminti pakanka komponentų.
- *gam_k1_uzsak* – gamintojo užsakomų komponentų 1 kiekis (viename užsakyme).
- *gam_k2_uzsak* – gamintojo užsakomų komponentų 2 kiekis (viename užsakyme).
- *gam_prek* – užsakymas pakeičiamas į paskirstytojui siunčiamas gamintojo prekes.
- *tiekl_gam* – reikalingos Tiekėjui 1 pagaminti komponentų partijų skaičius.
- *tiekl_komp* – užsakymas pakeičiamas į gamintojui siunčiamas Tiekėjo 1 prekes.
- *tiekl2_gam* – reikalingos Tiekėjui 2 pagaminti komponentų partijų skaičius.
- *tiekl2_komp* – užsakymas pakeičiamas į gamintojui siunčiamas Tiekėjo 2 prekes.

6 Tyrimo rezultatai

6.1 Pradiniai nustatymai

Iš viso buvo analizuojami 8 tiekimo grandinės modeliai (pateikti anksčiau). Kiekvienam modeliui buvo nustatytos tokios modeliavimo trukmės reikšmės:

- Modelio „apšilimas“ – 350 dienų.
- Modeliavimo trukmė – 1400 dienų.
- Valandų skaičius per dieną – 24.
- Po „apšilimo“ periodo išvalomi statistiniai rodikliai, o sistemos kintamųjų reikšmės paliekamos.

Nors kiekvieno modelio imitacinio modeliavimo trukmės yra 1750 dienų, tačiau realiai modeliavimas užtrunka žymiai trumpiau, nes Arena programa nagrinėja tik tuos laiko momentus, kai sistemoje yra atliekami kokie nors veiksmai. Visų nagrinėtų modelių modeliavimo trukmės yra skirtingos. Ilgiausiai vyksta vartotojų užsakymų informacijos pateikimo visiems grandinės dalyviams sistemų modeliavimas, nes šiuose modeliuose yra atliekama daugiausiai veiksmų.

6.1 lentelėje pateikiami modeliavimo metu naudotų kintamųjų pradinės reikšmės.

6.1 lentelė. Kintamųjų pradinės reikšmės

Kintamasis	Reikšmė
<i>v1_1_uzsak</i>	0
<i>v1_2_uzsak</i>	0
<i>v2_1_uzsak</i>	0
<i>v2_2_uzsak</i>	0
<i>pask1_sand</i>	100
<i>pask2_sand</i>	100
<i>p1_uzsak</i>	0
<i>p2_uzsak</i>	0
<i>gam_sand</i>	200
<i>gam_k1_sand</i>	100
<i>gam_k2_sand</i>	200
<i>tiekl_sand</i>	100
<i>tiekl2_sand</i>	200
<i>p_g_uzsak</i>	0
<i>g_t1_uzsak</i>	0
<i>g_t2_uzsak</i>	0
<i>k1_poreik</i>	0
<i>k2_poreik</i>	0
<i>p1_uzsakyta</i>	0
<i>p2_uzsakyta</i>	0
<i>k1_uzsakyta</i>	0
<i>k2_uzsakyta</i>	0
<i>gam_uzsakyta</i>	0
<i>v_g_uzsak</i>	0
<i>v_t1_uzsak</i>	0

Šiame darbe buvo analizuoti eksponentinis ir normalusis vartotojų užsakymų pasiskirstymas. 6.2 lentelėje pateikiami šių pasiskirstymų nustatymai. Šioje lentelėje eksponentinio pasiskirstymo reikšmė atitinka eksponentinio pasiskirstymo λ reikšmę (1 formulė), o normaliojo pasiskirstymo: pirmas skaitmuo atitinka μ reikšmę, o antrasis – σ reikšmę (2 formulė).

6.2 lentelė. Vartotojų užsakymų pasiskirstymas

Vartotojų grupė	Create elemento numeris	Reikšmė (dienos)	Pirmo užsakymo sukūrimas (diena)
EkspONENTINIS pasiskirstymas			
<i>Vartotojai 1</i>	<i>Create1</i>	EXPO(3)	0
<i>Vartotojai 1</i>	<i>Create2</i>	EXPO(14)	7
<i>Vartotojai 1</i>	<i>Create3</i>	EXPO(60)	50
<i>Vartotojai 2</i>	<i>Create1</i>	EXPO(2)	0
<i>Vartotojai 2</i>	<i>Create2</i>	EXPO(14)	10
<i>Vartotojai 2</i>	<i>Create3</i>	EXPO(60)	20
Normalusis pasiskirstymas			
<i>Vartotojai 1</i>	<i>Create1</i>	NORM(3, 1)	0
<i>Vartotojai 1</i>	<i>Create2</i>	NORM(14, 5)	7
<i>Vartotojai 1</i>	<i>Create3</i>	NORM(60, 15)	50
<i>Vartotojai 2</i>	<i>Create1</i>	NORM(2, 1)	0
<i>Vartotojai 2</i>	<i>Create2</i>	NORM(14, 5)	10
<i>Vartotojai 2</i>	<i>Create3</i>	NORM(60, 15)	20

Prekių skaičiaus pasiskirstymas viename vartotojo užsakyme pateiktas 6.3 lentelėje.

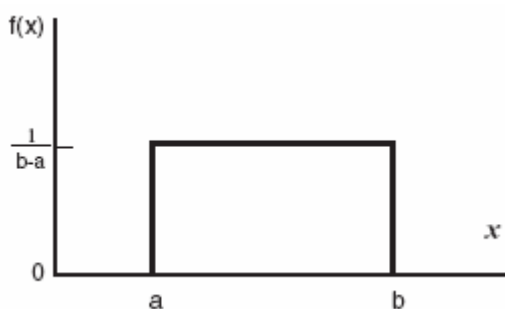
6.3 lentelė. Prekių skaičiaus užsakymuose pasiskirstymas

Vartotojų grupė	Assign elemento numeris	Reikšmė (vnt.)
<i>Vartotojai 1</i>	<i>Assign1</i>	Pois(5)
<i>Vartotojai 1</i>	<i>Assign2</i>	Pois(15)
<i>Vartotojai 1</i>	<i>Assign3</i>	Pois(35)
<i>Vartotojai 2</i>	<i>Assign1</i>	Pois(4)
<i>Vartotojai 2</i>	<i>Assign2</i>	Pois(10)
<i>Vartotojai 2</i>	<i>Assign3</i>	Pois(40)

Periodiniai atsargų papildymo ir gamybos procesai šiame darbe buvo organizuoti kartą per savaitę. T. y. paskirsitytojų, gamintojo ir tiekėjų atitinkami *Create* elementai generavo subjektus pastoviu dažniu vieną kartą per 7 dienas. Pirmas subjektų sukūrimas buvo 8 modeliavimo dieną praleidžiant pirmą savaitę.

Likusios modelių reikšmės pateiktos 6.4 lentelėje. Tai kitos įvairių nustatymų skaitinės išraiškos, kurios nebuvo anksčiau paminėtos. Šiame modelyje buvo naudotas dar vienas pasiskirstymo dėsnis: tai pastovus pasiskirstymo dėsnis (*angl. uniform*) (UNIF). Pagal šį dėsnį

tikimybinis reikšmių pasiskirstymas yra vienodas pasirinktame intervale (27 pav.). Reikšmės lentelėje atitinka pasirinkto intervalo ribas.



27 pav. Pastovaus pasiskirstymo dėsnio tikimybės tankio funkcija (UNIF(a, b))

6.4 lentelė. Kitų modelio nustatymų reikšmės

Grandinės dalyvis	Parametras	Matavimo vienetai	Reikšmė
<i>Paskirstytojas 1</i>	Užsakymų informacijos vėlinimas	dienos	UNIF(0.9, 1.1)*0.5
<i>Paskirstytojas 1</i>	Prekių pristatymo vartotojams vėlinimas	dienos	UNIF(0.9, 1.1)*2
<i>Paskirstytojas 1</i>	Užsakomų prekių partijos dydis (kai užsakoma partijomis)	vnt.	20
<i>Paskirstytojas 2</i>	Užsakymų informacijos vėlinimas	dienos	UNIF(0.9, 1.1)*0.5
<i>Paskirstytojas 2</i>	Prekių pristatymo vartotojams vėlinimas	dienos	UNIF(0.9, 1.1)*2
<i>Paskirstytojas 2</i>	Užsakomų prekių partijos dydis (kai užsakoma partijomis)	vnt.	20
<i>Gamintojas</i>	Užsakymų informacijos vėlinimas (tiesioginio pirkėjo ir galutinio vartotojo)	dienos	UNIF(0.9, 1.1)*0.5
<i>Gamintojas</i>	Prekių pristatymo vartotojams vėlinimas	dienos	UNIF(0.9, 1.1)*14
<i>Gamintojas</i>	Užsakomų komponentų 1 partijos dydis (kai užsakoma partijomis)	vnt.	40
<i>Gamintojas</i>	Užsakomų komponentų 2 partijos dydis (kai užsakoma partijomis)	vnt.	80
<i>Gamintojas</i>	Prekių gamyba	valandos	UNIF(3.5, 4.5)
<i>Gamintojas</i>	Gaminamų prekių partijos dydis	vnt.	20
<i>Gamintojas</i>	Gamybos resursų kiekis	vnt.	3
<i>Tiekėjas 1</i>	Užsakymų informacijos vėlinimas (tiesioginio pirkėjo ir galutinio vartotojo)	dienos	UNIF(0.9, 1.1)*0.5
<i>Tiekėjas 1</i>	Prekių pristatymo vartotojams vėlinimas	dienos	UNIF(0.9, 1.1)*14
<i>Tiekėjas 1</i>	Prekių gamyba	valandos	UNIF(4.8, 5.8)

<i>Tiekėjas 1</i>	Gaminamų <i>komponentų 1</i> partijos dydis	vnt.	80
<i>Tiekėjas 1</i>	Gamybos resursų kiekis	vnt.	2
<i>Tiekėjas 2</i>	Užsakymų informacijos vėlinimas (tiesioginio pirkėjo ir galutinio vartotojo)	dienos	UNIF(0.9, 1.1)*0.5
<i>Tiekėjas 2</i>	Prekių pristatymo vartotojams vėlinimas	dienos	UNIF(0.9, 1.1)*14
<i>Tiekėjas 2</i>	Prekių gamyba	valandos	UNIF(4.8, 5.8)
<i>Tiekėjas 2</i>	Gaminamų <i>komponentų 1</i> partijos dydis	vnt.	160
<i>Tiekėjas 2</i>	Gamybos resursų kiekis	vnt.	3

Pasirinkti modeliavimo rezultatai yra išsaugomi Excell faile. Failo pavadinimas yra toks pat, kaip ir modelio failo pavadinimas ir patalpinamas toje pat direktorijoje, kaip ir pagrindinis modelio failas. Būtina žinoti, kad Arena modeliavimo programa nesukuria duomenų failo. Duomenų failas iš turi būti paruoštas paties modeliautojo prieš pradedant patį modeliavimą. Kiekvieno tiekimo grandinės dalyvio duomenys yra išsaugomi atskiruose to paties failo lapuose. Excell celės ir lapai turi savo vardus, pagal kuriuos Arena programa nustato duomenų patalpinimo vietą. Excell faile išsaugomi tokie dalyvių duomenys:

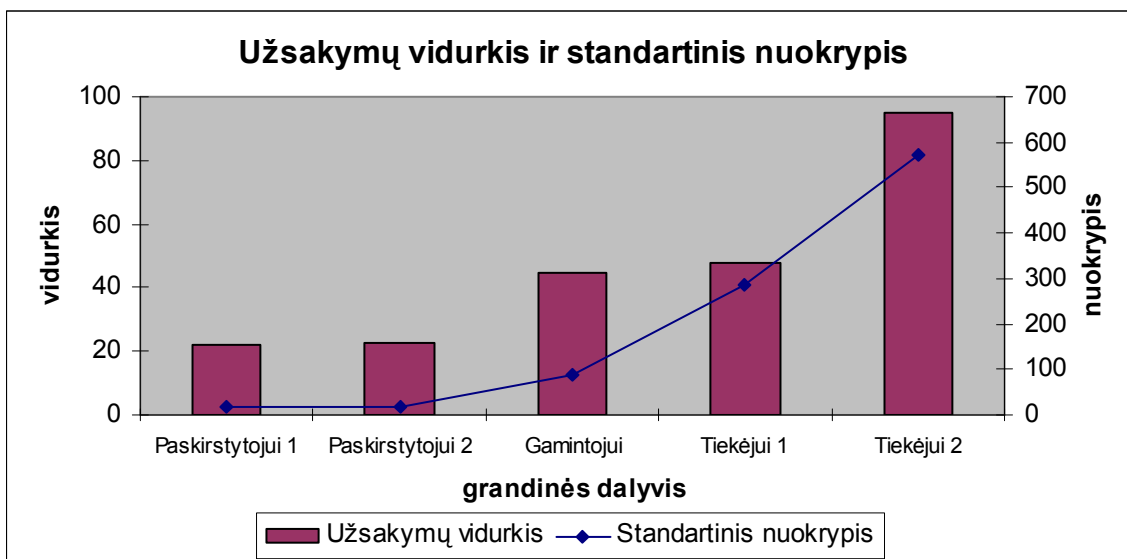
- tiesioginio pirkėjo (arba pirkėjų) užsakymų skaičius per periodą;
- sandėlio (arba sandėlių) lygis periodo pradžioje;
- laukiančių eilėje tiesioginio pirkėjo (arba pirkėjų) užsakymų skaičius periodo pradžioje;
- laukiančių eilėje tiesioginio pirkėjo (arba pirkėjų) užsakytos produkcijos skaičius periodo pradžioje.

Be šių duomenų Excell failuose yra paskaičiuojami kiekvieno dalyvio gaunamų užsakymų ir sandėlio (arba sandėlių) vidurkiai ir standartinis nuokrypis. O atskirame Excell lape nubraižomi keturi grafikai:

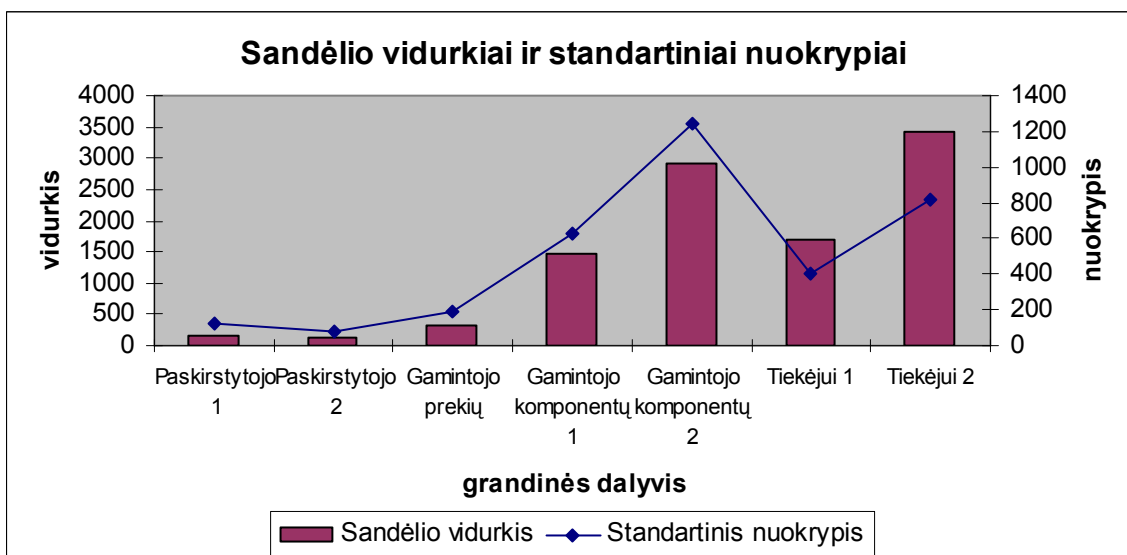
1. Visų dalyvių sandėlių lygiai modeliavimo metu.
2. Dalyvių užsakymų pasiskirstymas modeliavimo metu.
3. Neaptarnautų užsakymų skaičius kiekviename periode.
4. Užsakytų, bet neaptarnautų prekių skaičius kiekviename periode.

6.2 Neapibrėžtumo efektas ir jo mastai

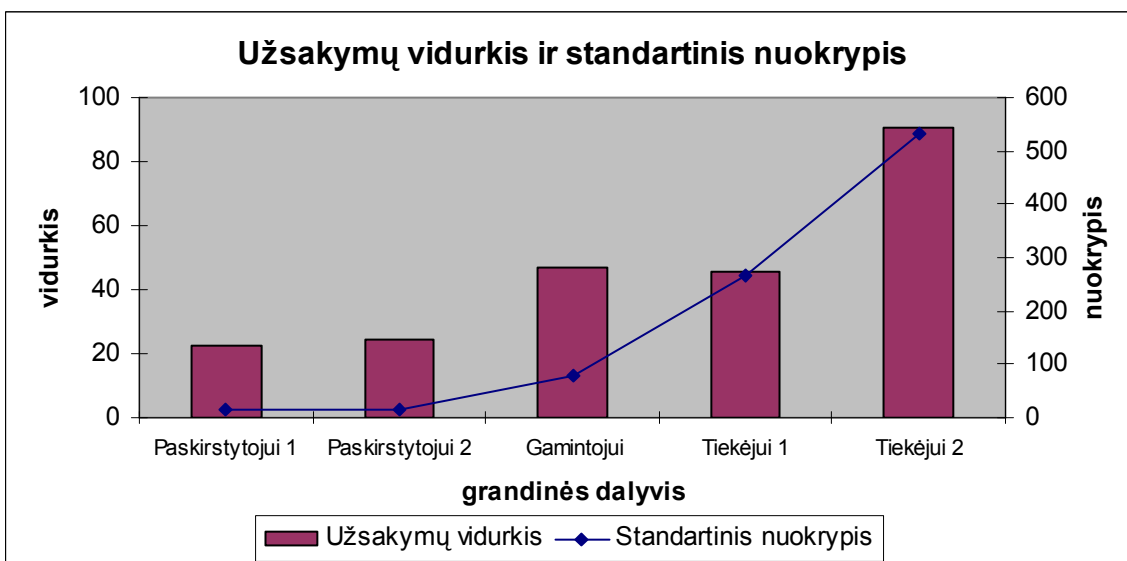
Visų pirma buvo sukurti du pradiniai analizuojamos tiekimo grandinės modeliai: esant eksponentiniam ir normaliajam vartotojų užsakymų pasiskirstymui. Šių pradinių modelių tikslas parodyti neapibrėžtumo efektą ir jo dydį. Užsakymų ir sandėlio lygio svyravimai esant eksponentiniam vartotojų užsakymų pasiskirstymui pateikti 28 pav. ir 29 pav., o esant normaliajam pasiskirstymui – 30 pav. ir 31 pav.



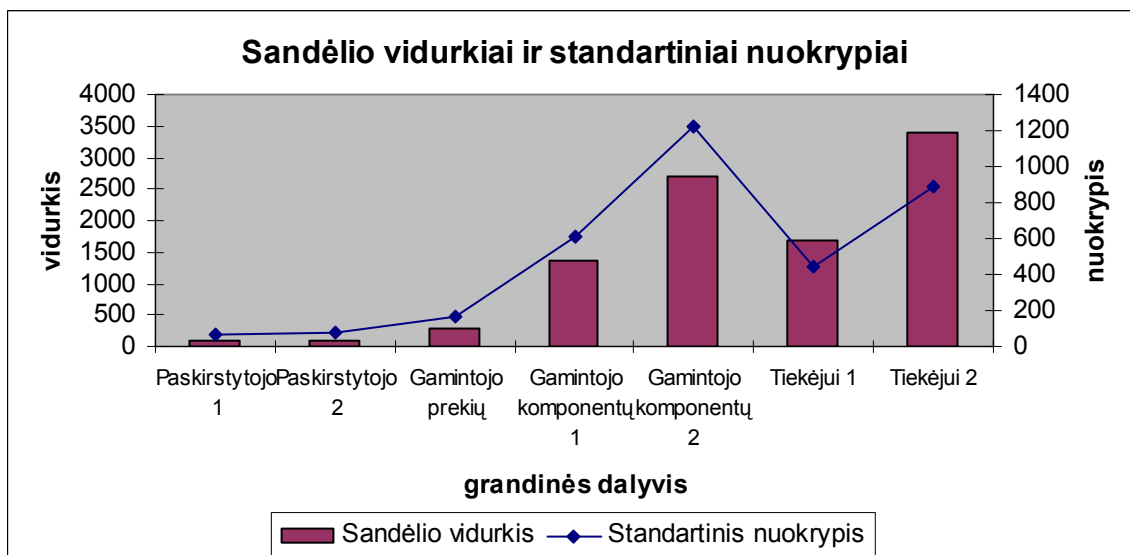
28 pav. Užsakymų svyravimai esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui



29 pav. Sandėlio lygio svyravimai esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui



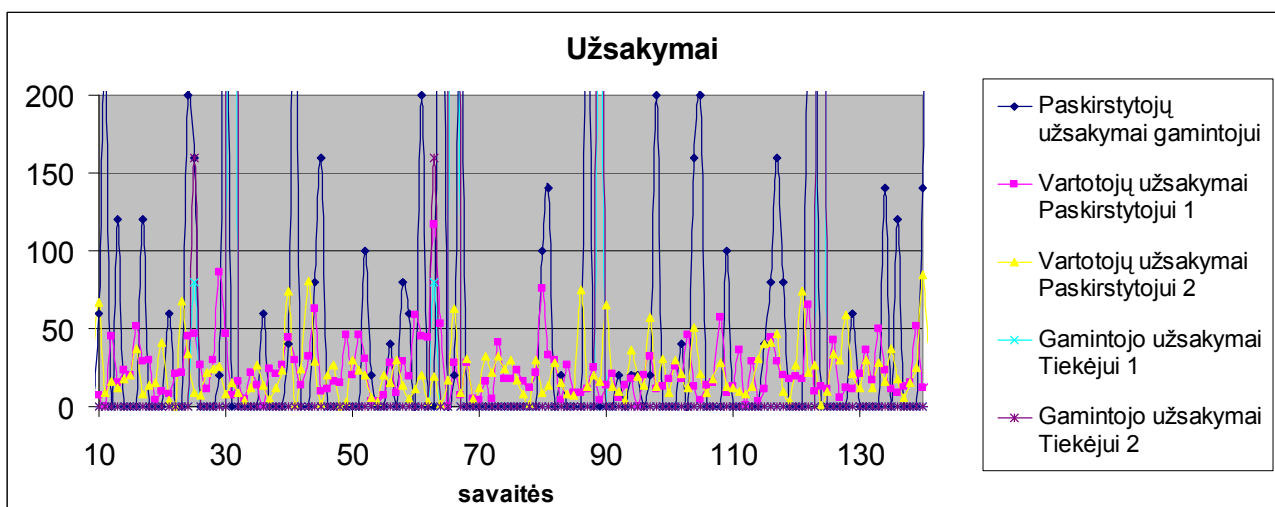
30 pav. Užsakymų svyravimai esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui



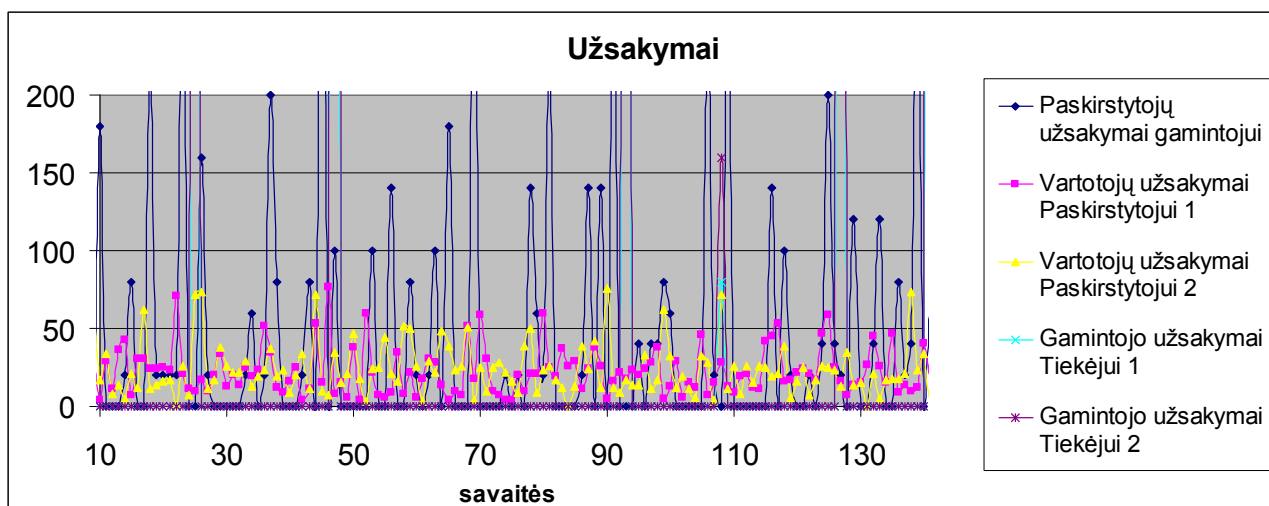
31 pav. Sandėlio lygio svyravimai esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui

Iš pateiktų grafikų matyti, kad neapibrėžtumo efektas egzistuoja ir gana stiprus efekto didėjimas tolstant nuo galutinio vartotojo. Pavyzdžiui užsakymų standartinis nuokrypis pas *Tiekėją 2* yra beveik 23 kartus didesnis lyginant su paskirstytojų (lyginta buvo su abiejų paskirstytojų vidutine verte). Dėl didelių užsakymo lygių ir jų svyravimo, grandinės dalyviai turi planuoti ir didesnius sandėlio lygius. Todėl padidėja operacinės išlaidos ir gaunamas mažesnis pelnas. Ši problema ypač aktuali toliau nuo vartotojų esantiems dalyviams: tai gamintojai ir žaliavų ar komponentų tiekėjai.

32 pav. ir 33 pav. pateikiama užsakymų skaičiaus pasiskirstymas laike. Iš šių grafikų matyti, kad nors ir vartotojų užsakymų paskirstytojams svyravimas yra pakankamai nedidelis, gamintojo užsakymai tiekėjui svyruoja gana stipriai. Grafikuose nesimato didesnių užsakymo reikšmių todėl, kad būtų aiškiau matyti mažus vartotojų užsakymų svyravimus.

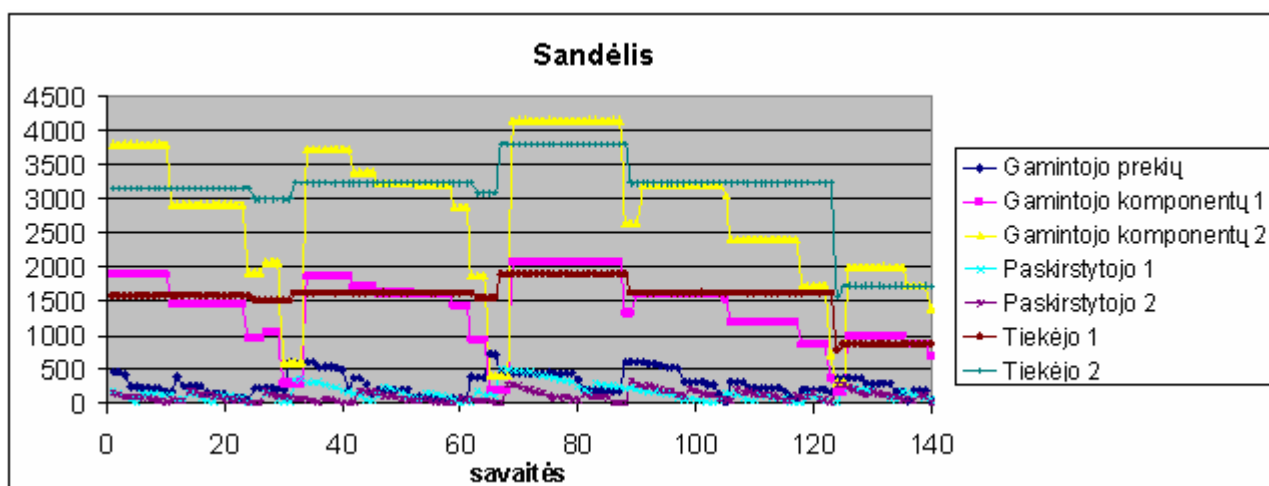


32 pav. Užsakymų pasiskirstymas laike esant eksponentiniam vartotojų užsakymų pasiskirstymui

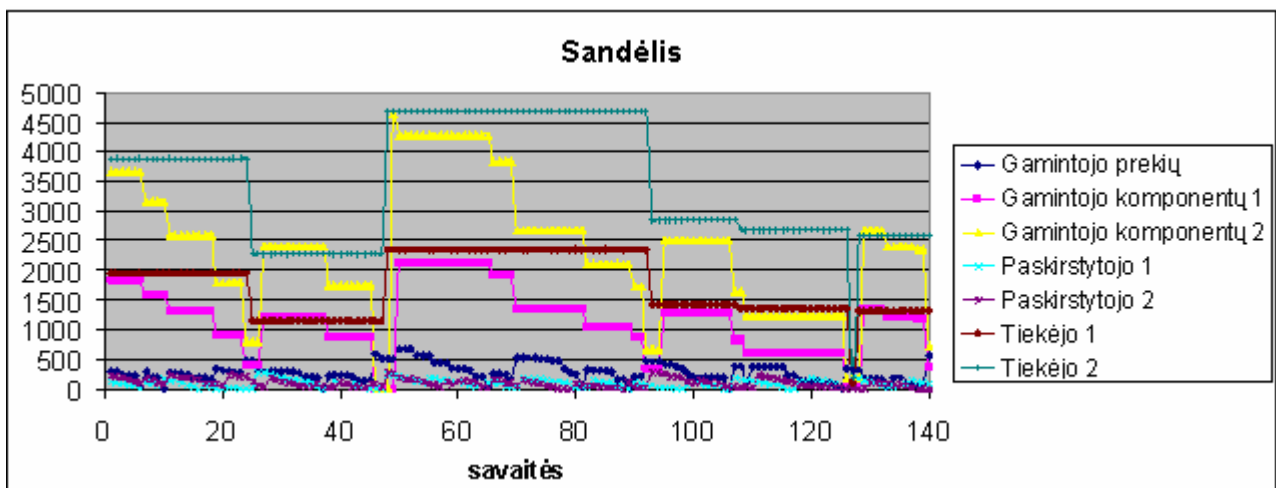


33 pav. Užsakymų pasiskirstymas laike esant normaliajam vartotojų užsakymų pasiskirstymui

Atitinkamai 34 ir 35 pav. pavaizduoti grandinės dalyvių sandėlio lygio pokyčiai laike eksponentiniam ir normaliajam užsakymų pasiskirstymui.



34 pav. Sandėlio lygio pasiskirstymas laike esant eksponentiniam vartotojų užsakymų pasiskirstymui



35 pav. Sandėlio lygio pasiskirstymas laike esant normaliajam vartotojų užsakymų pasiskirstymui

34 ir 35 pav. gerai matosi kiekvieno grandinės dalyvio sandėlio lygiai. Nors ir paskirstytojų ir gamintojo prekių sandėlių lygiai yra pakankamai nedideli, tačiau tiekėjų sandėlių ir gamintojo komponentų sandėlių lygiai yra net iki 9 kartų didesni. Todėl tiekėjų ir gamintojo operacinės išlaidos tokiems sandėliams yra labai didelės. Tokie lygiai atsiranda dėl poreikio prognozių, kurie atliekami pagal istorinius užsakymų duomenis.

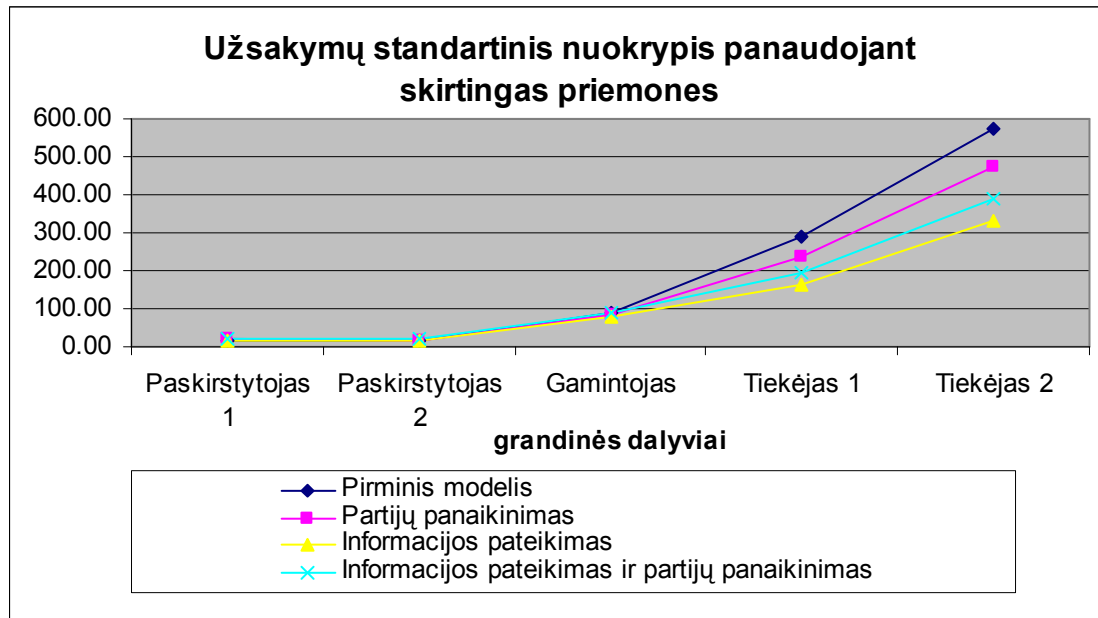
6.3 Neapibrėžtumo efekto mažinimo priemonės ir jų efektyvumas

Siekiant išanalizuoti neapibrėžtumo efekto mažinimo priemones ir jų efektyvumą, buvo atlikti šeši neapibrėžtumo mažinimo tiekimo grandinėje modeliavimai:

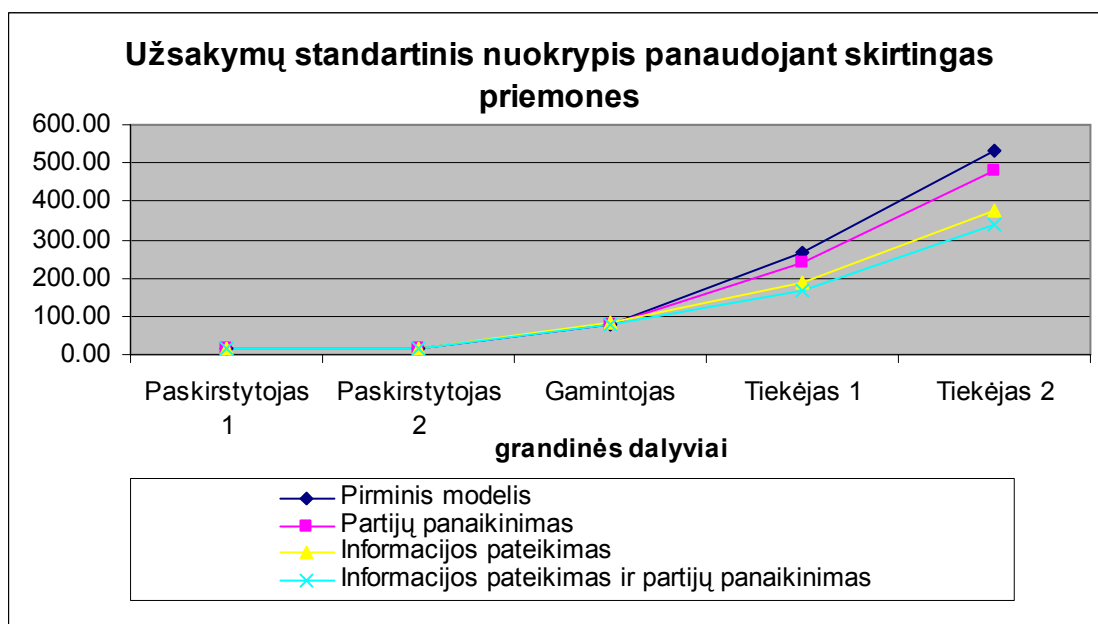
1. Eksponentinis užsakymų pasiskirstymas:
 - a. prekių partijų panaikinimo modelis;
 - b. vartotojų užsakymų informacijos pateikimo visiems grandinės dalyviams modelis;
 - c. modelis panaudojant abi priemones.
2. Normalusis užsakymų pasiskirstymas
 - a. prekių partijų panaikinimo modelis;
 - b. vartotojų užsakymų informacijos pateikimo visiems grandinės dalyviams modelis;
 - c. modelis panaudojant abi priemones.

Buvo analizuoti užsakymų bei sandėlio lygio vidurkiai ir jų standartiniai nuokrypiai. Išsamūs tyrimo rezultatai pateikti prieduose. 1 lentelėje pateikti visų neapibrėžtumo mažinimo priemonių užsakymų rezultatai, o 2 lentelėje – sandėlio rezultatai esant eksponentiniam ir normaliajam vartotojų užsakymų pasiskirstymui. Gauti duomenys parodo, kad kiekviena neapibrėžtumo efekto mažinimo priemonė turi įtakos šio efekto mažinimui, tačiau didžiausią įtaką

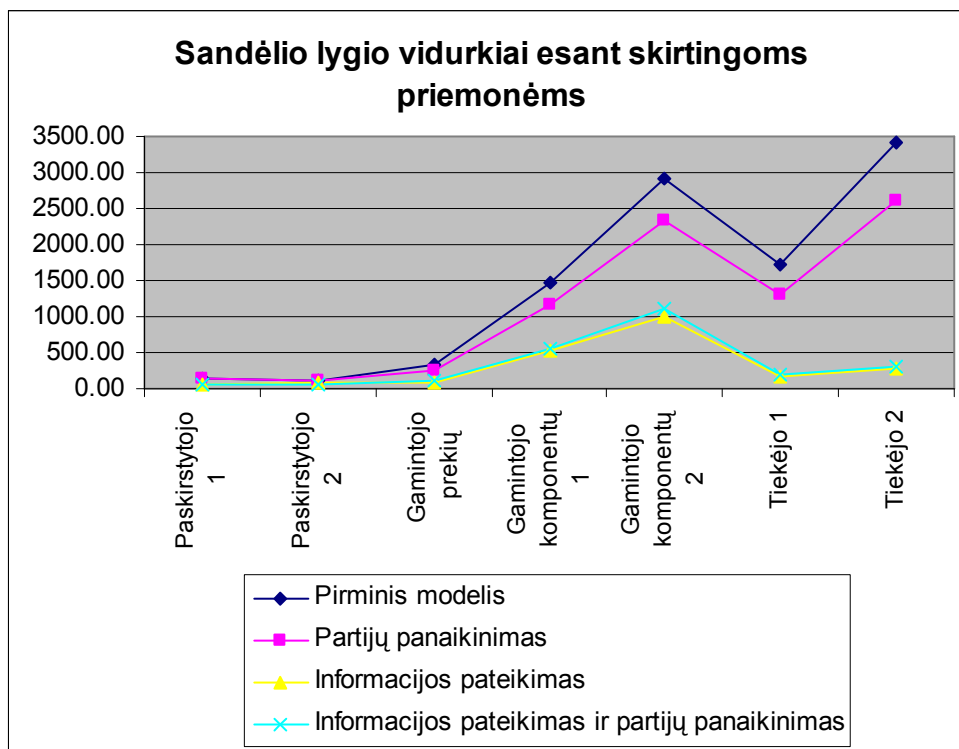
turi informacijos pateikimas visiems grandinės dalyviams. Ši priemonė ypač naudinga tiekėjams, kurie gali ženkliai sumažinti gamybos apimtis, o taip pat ir gamintojams siekiant laikyti mažesnes komponentų atsargas. Visų aštuonių modelių užsakymų ir sandėlio lygių rezultatai pateikti 36-41 pav.



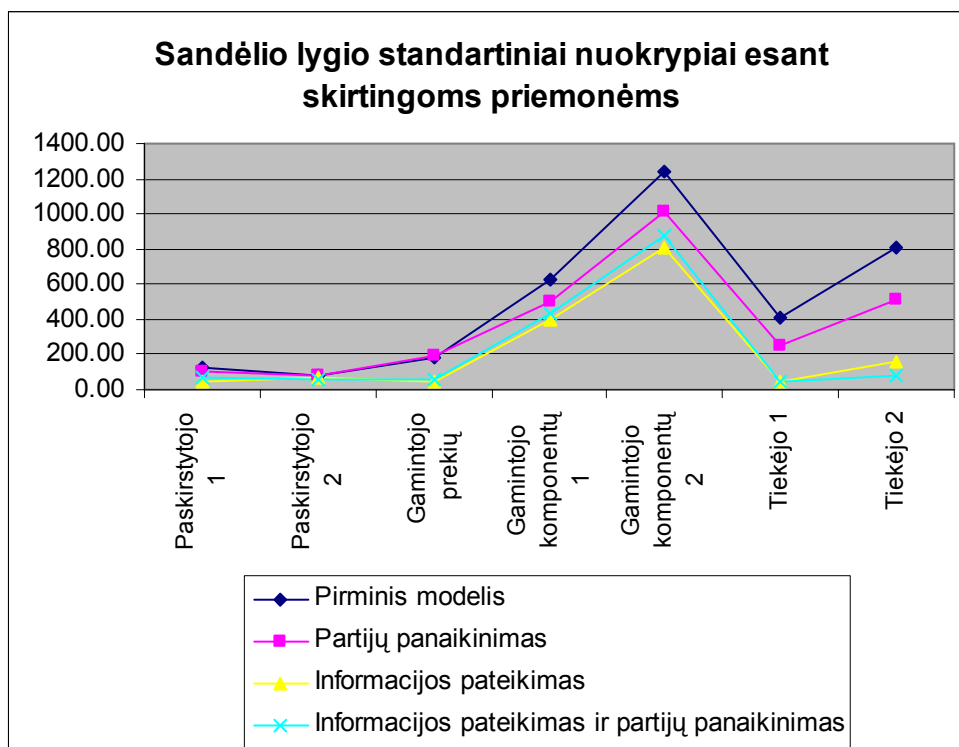
36 pav. Užsakymų standartinis nuokrypis esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui



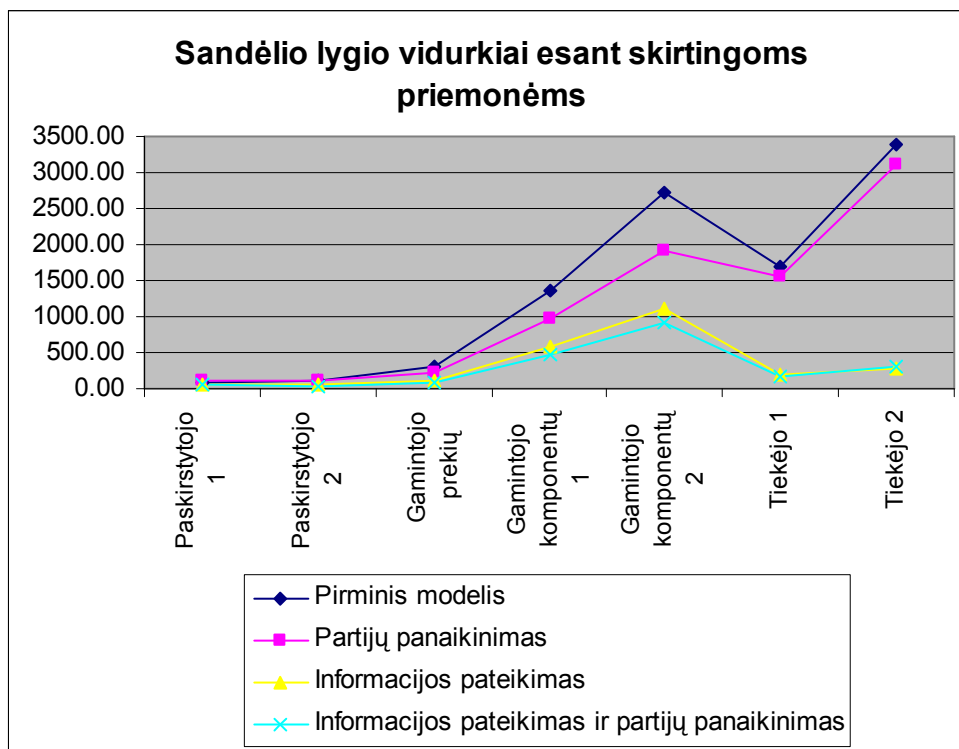
37 pav. Užsakymų standartinis nuokrypis esant normaliam užsakymų pasiskirstymui



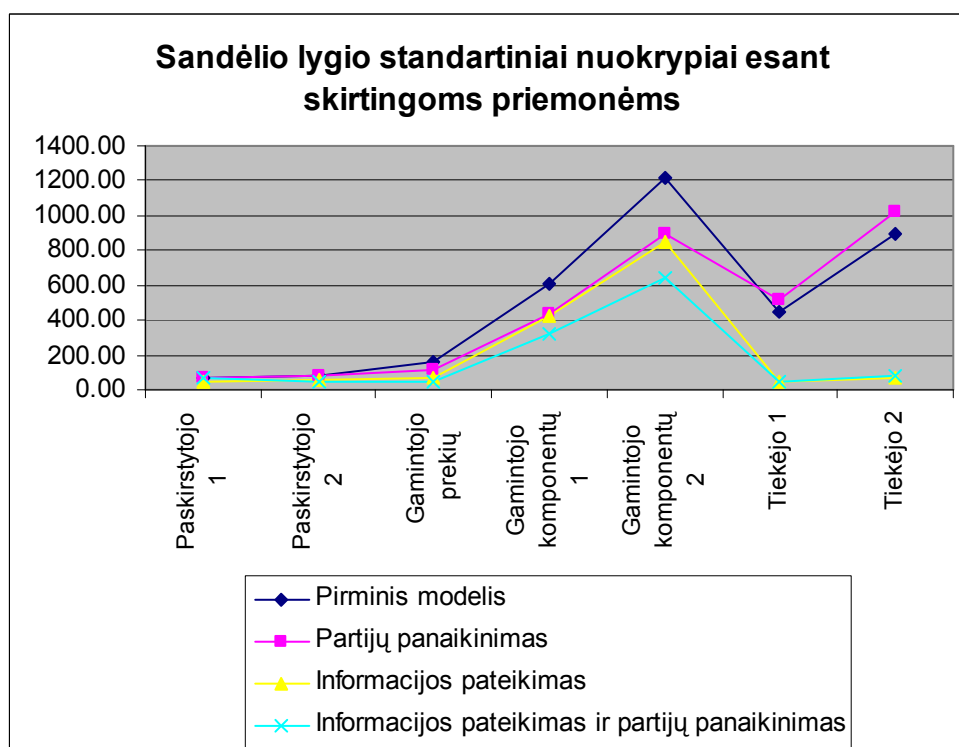
38 pav. Sandėlio vidurkiai esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui



39 pav. Sandėlio lygio standartiniai nuokrypiai esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui



40 pav. Sandėlio vidurkiai esant normaliam užsakymų pasiskirstymui



41 pav. Sandėlio lygio standartiniai nuokrypiai esant normaliam užsakymų pasiskirstymui

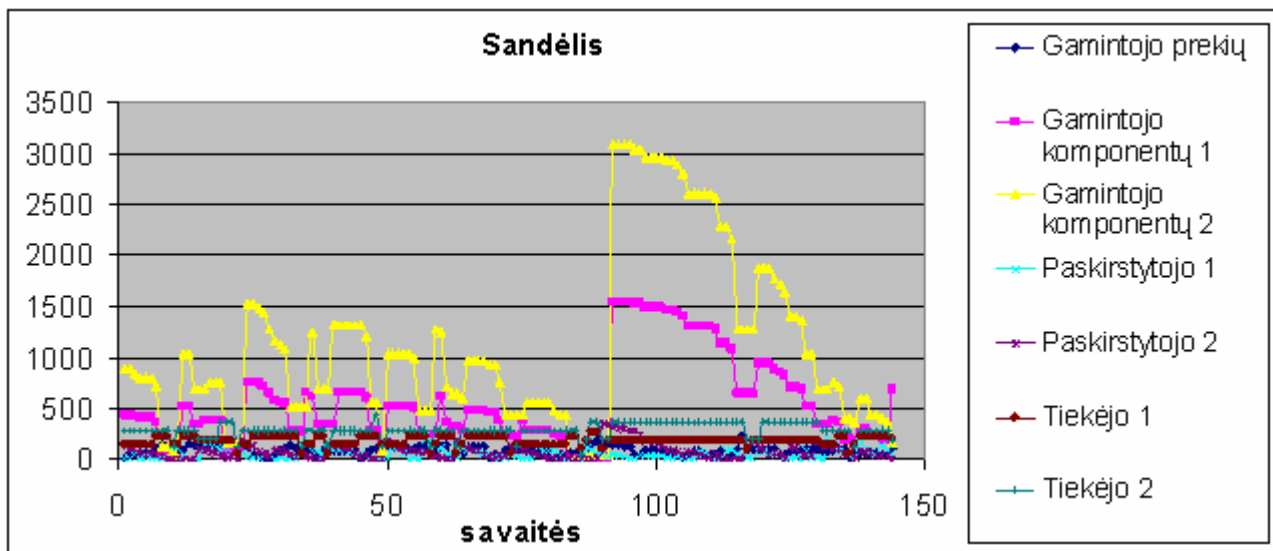
Šiuose paveiksluose puikiai matosi neapibrėžtumo efekto mažinimo priemonių efektas mažinant užsakymų kiekį ir sandėlio lygį. Iš gautų rezultatų matyti, kad efektyviausia priemonė iš analizuotų yra informacijos pateikimas visiems tiekimo grandinės dalyviams. Aišku šios priemonės naudojimas kartu su partijų panaikinimu gali dar sumažinti neapibrėžtumo efektą (tačiau sumažėjimas labai nedidelis).

Užsakymų vidurkio ir standartinio nuokrypio pakankamas sumažėjimas pastebimas tik pas tiekėjus. Taip yra todėl, kad naudojant informacijos pateikimą grandinės dalyviams, gamintojas yra pirmasis, kuris prognozavimui naudoja kitą informaciją lyginat su tradicine tiekimo grandine. Todėl jo užsakymai tiekėjui yra mažesni.

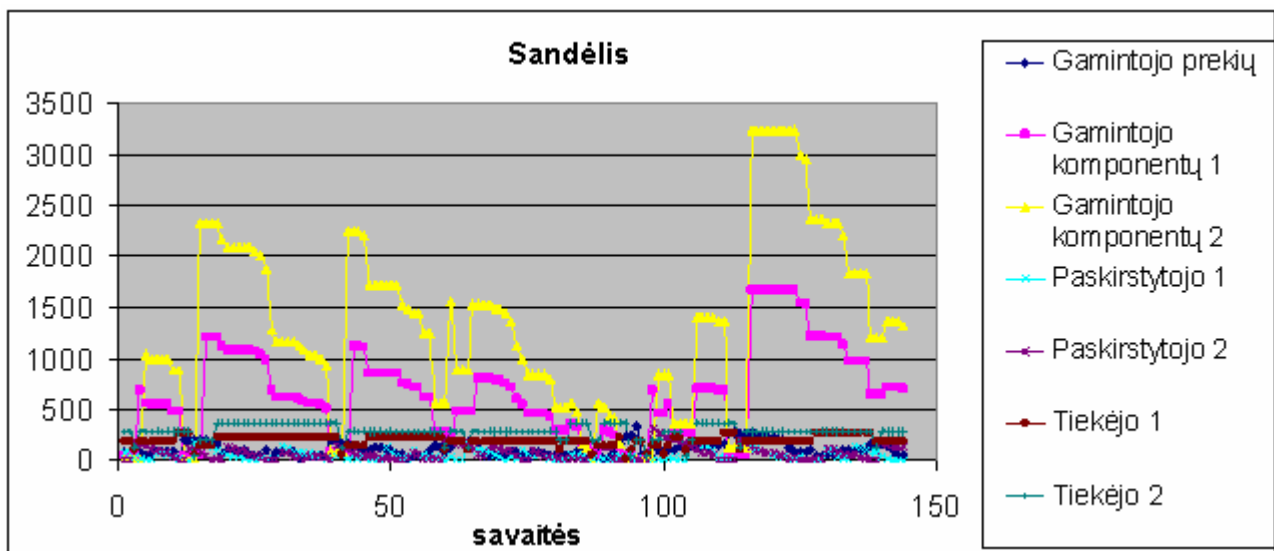
Sandėlio lygio sumažėjimas jau pastebimas ir pas gamintoją, nes esant informacijos pateikimui, gamintojas gamybos apimtis planuoja pagal vartotojo, o ne paskirstytojo informaciją.

Analizuotos neapibrėžtumo mažinimo priemonės didžiausią įtaką turėjo tiekėjams. Panaudojus informacijos pateikimą, *Tiekėjo 2* sandėlio lygio vidurkis sumažėjo net 11.86 kartus (nuo 3423.87 iki 288.69), o standartinis nuokrypis beveik 5 kartus (nuo 813.73 iki 163.58). Nors šiame darbe nebuvo analizuotos prekių ir komponentų sandėliavimo išlaidos, tačiau akivaizdu, kad toks gamintojo ir tiekėjų sandėlio lygių sumažėjimas labai sumažina ir sandėliavimo išlaidas.

Sandėlio lygio pasiskirstymas laike esant eksponentiniam ir normaliajam užsakymų pasiskirstymui, pateiktas 42 ir 43 pav.



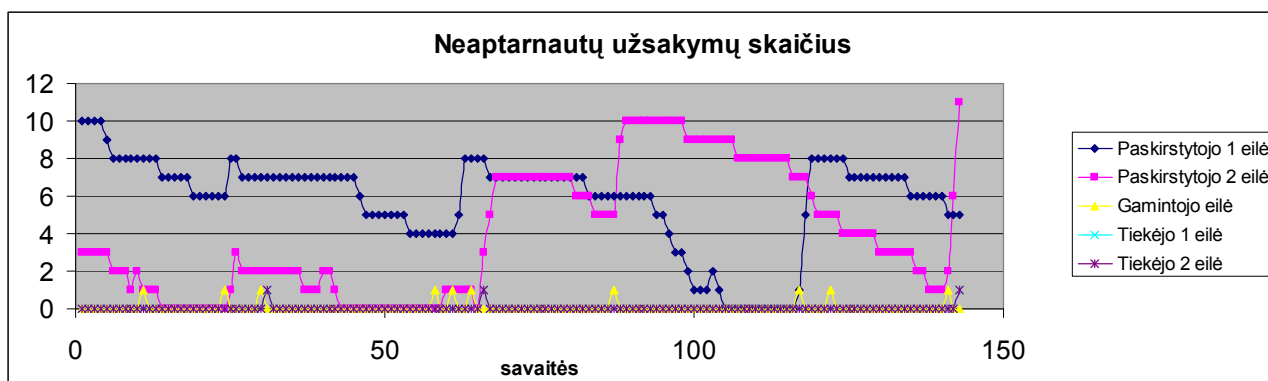
42 pav. Sandėlio lygio pasiskirstymas laike esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui



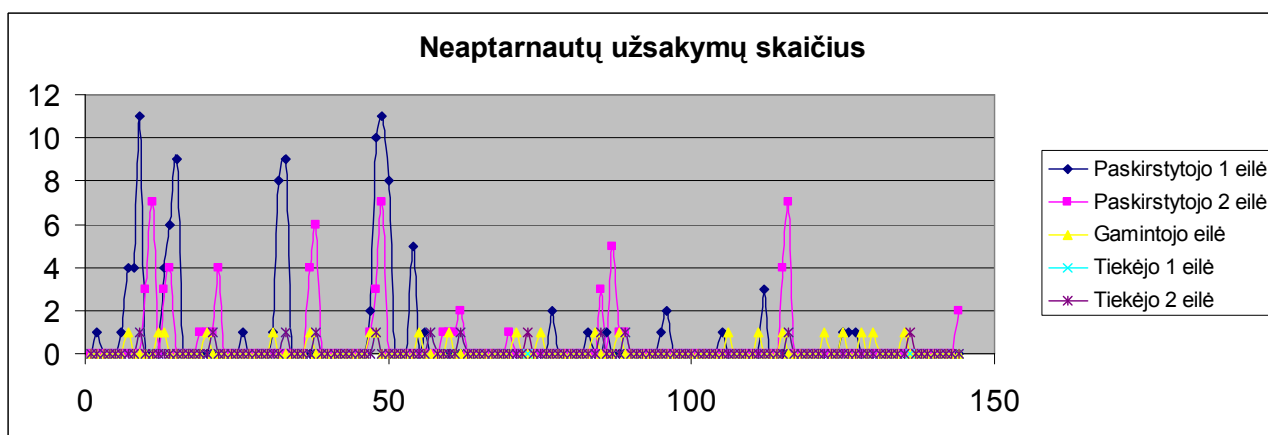
43 pav. Sandėlio lygio pasiskirstymas laike esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui

Lyginant 34 pav. su 42 pav. ir 35 pav. su 43 pav. pateiktus grafikus akivaizdžiai matyti, kad sandėlio lygiai laike yra sumažėję. Gamintojo komponentų sandėlio lygio nepavyko sumažinti iki tiekėjų sandėlio lygių todėl, kad gamintojo komponentų sandėlio lygiai priklauso ne nuo vartotojų užsakymų informacijos, bet nuo realaus komponentų poreikio. T.y. užsakymai tiekėjui daromi pagal planuojamą komponentų poreikį ateičiai ir siekiant patenkinti neaptarnautus užsakymus. Be to užsakymai tiekėjams yra daromi tokiam komponentų kiekiui, kad jo pakaktų visam komponentų pristatymo terminui (šiam darbe vidutinis komponentų pristatymo terminas gamintojui yra 2 savaitės arba du periodinio peržiūrėjimo periodai).

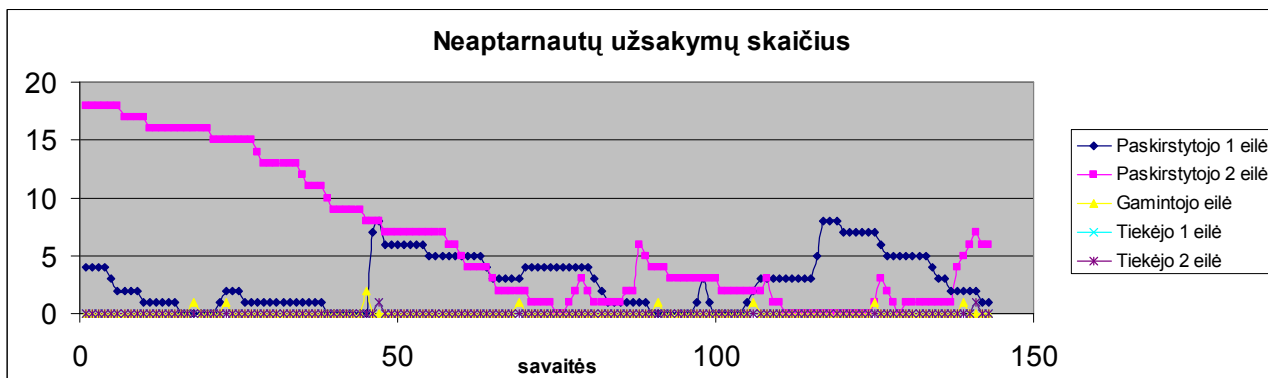
42 pav. 92 savaitę, o 43 pav. 116 savaitę pastebimas žymus gamintojo komponentų sandėlio padidėjimas. Šis didelis sandėlio lygio padidėjimas atsirado dėl susikaupusių pas gamintojus paskirstytojų neaptarnautų užsakymų kiekio. Nors ir šiais momentais buvo pakankamai didelis neaptarnautų užsakymų skaičius, tačiau bendras neaptarnautų užsakymų skaičius modeliavimo metu išliko panašus lyginant su priminiu modeliu. 44 pav. ir 45 pav. pateiktas neaptarnautų užsakymų skaičius esant eksponentiniam vartotojų užsakymui, o 46 pav. ir 47 pav. – esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui.



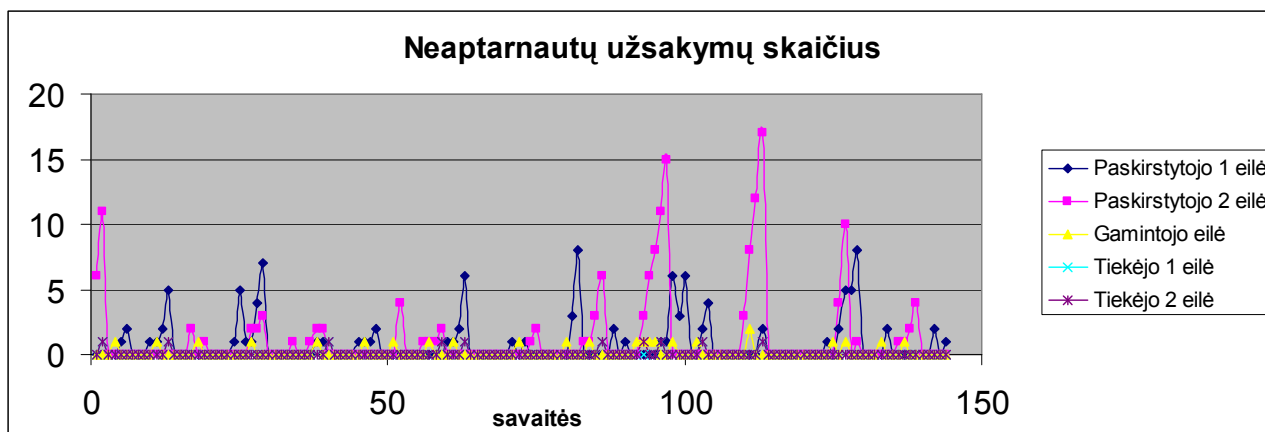
44 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius pirminiame modelyje esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui



45 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius informacijos pateikimo modelyje esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui



46 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius pirminiame modelyje esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui

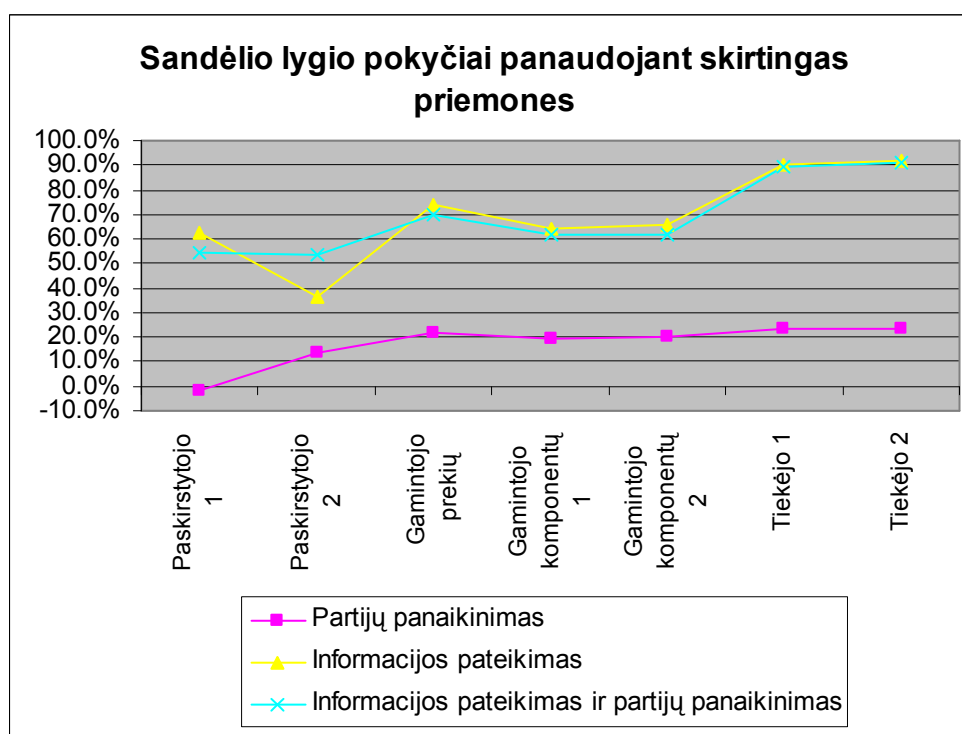


47 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius informacijos pateikimo modelyje esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui

Vertinant analizuotų neapibrėžtumo efekto mažinimo priemonių efektyvumą, buvo vertinti nagrinėtų kintamųjų pokyčio lygiai esant skirtingoms priemonėms. Užsakymų ir sandėlio lygio vertės buvo lyginamos su pirminiu modeliu. Procentinės rezultatų pokyčių reikšmės lyginant su pradiniu modeliu pateiktos prieduose. Pokyčiai skaičiuoti pagal tokią formulę:

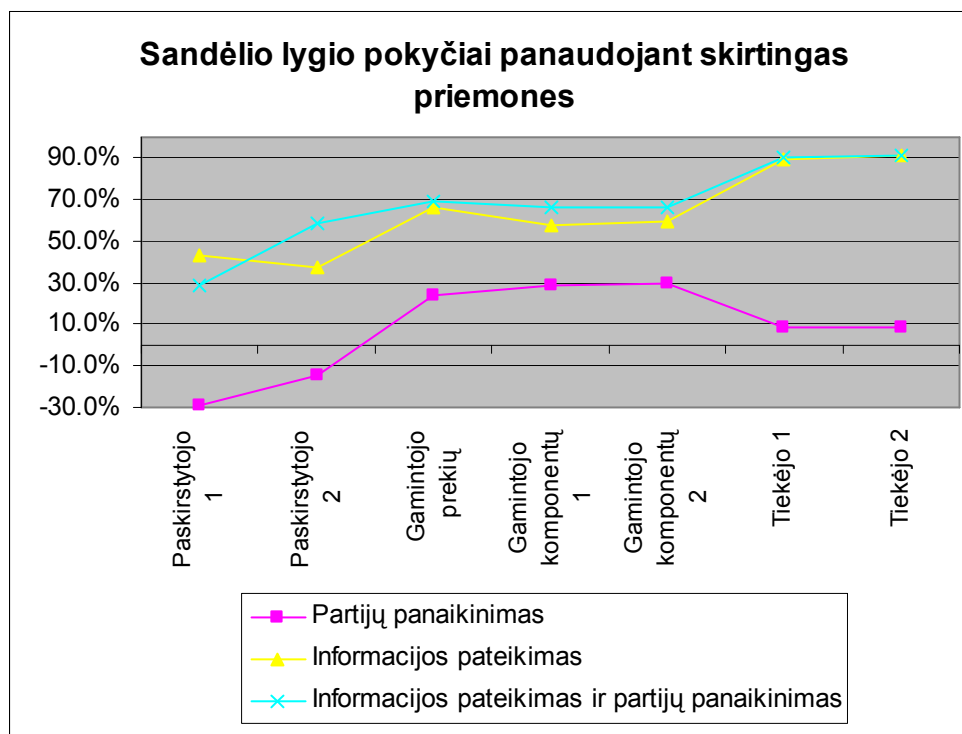
$$Pokytis = \left(1 - \frac{\text{nagrinė agras modelis}}{\text{pirminis modelis}} \right) \cdot 100\% . \quad (17)$$

Iš gautų duomenų matyti, kad informacijos pateikimas visiems grandinėms dalyviams smarkiai sumažina neapibrėžtumo efektą. Ši priemonė sugebėjo vidutinį tiekėjų komponentų sandėlio lygį sumažinti net 91.2 proc. esant eksponentiniam vartotojų užsakymų pasiskirstymui (48 pav.).



48 pav. Sandėlio vidurkio pokyčiai esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui

Nors ir esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui, paskirstytojų ir gamintojo sandėlio lygio pokyčiai buvo mažesni, tačiau tiekėjo sandėlio lygiai taip pat buvo sumažinti panašiu lygiu, kaip kad ir esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui (49 pav.).



49 pav. Sandėlio vidurkio pokyčiai esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui

Kiti neapibrėžtumo efekto priemonių mažinimo efektyvumo duomenys ir grafikai pateikti prieduose.

Tyrimo metu buvo gautos neigiamos kai kurios pokyčio vertės, parodydamos iš pirmo žvilgsnio neigiamą neapibrėžtumo efektą mažinančių priemonių efektą.

Tyrimo metu gautos mažos neigiamos procentinės išraiškos nerodo analizuotų priemonių neigiamos įtakos mažinant neapibrėžtumo efektą. Dėl tyrimo metu naudotų atsitiktinių užsakymų, prekių pristatymo, informacijos apdorojimo, gamybos procesų dydžių negalima visų modelių lyginti kaip lygiaverčių ir todėl kai kurių priemonių nedidelė įtaka gali turėti neigiamą vertę. Atliekant pakartotinus modeliavimus buvo gauti panašūs rezultatai, t.y. vieni parametrai pagerėdavo, tačiau kiti būdavo prastesni, todėl ataskaitose buvo pateikti būtent tokie rezultatai.

Analizuojant normalųjį užsakymų pasiskirstymą, gauti neigiami 12-30 proc. sandėlio vidurkio ir standartinio nuokrypio pokyčiai. Tačiau tai galima paaiškinti tuo, kad dėka naudotų modelyje atsitiktinių dydžių buvo nevienodas vartotojų užsakymų srautas keturiuose modeliuose. Tai parodo gautas didesnis užsakymų vidurkis ir standartinis nuokrypis (žr. priedus). Todėl ir sandėlio lygiai buvo didesni. Arena programoje atliekant pakartotinus šio modelio modeliavimus, buvo gauti panašūs duomenys, todėl darbe palikti tokie rezultatai.

Įvertinus skirtingų neapibrėžtumo efekto mažinimo priemonių efektyvumą, darbe buvo analizuota vartotojų užsakymų įtaka neapibrėžtumo mažinimui. Buvo tarpusavyje lyginami skirtingų vartotojų užsakymų pasiskirstymų gauti duomenys.

Palyginimo rezultatai pateikti 6.5 ir 6.6 lentelėse. Lentelėse pateiktų duomenų skaitinės reikšmės buvo apskaičiuotos iš eksponentinio užsakymų pasiskirstymo modelių rezultatų atimant normalaus pasiskirstymo modelių rezultatus.

6.5 lentelė. Užsakymų tiekėjams palyginimas esant skirtingiems užsakymų pasiskirstymams (eksponentinio pasiskirstymo modelių pranašumas)

Grandinės dalyvis	Parametras	Užsakymo partijų panaikinimas	Informacijos pateikimas	Informacijos pateikimas ir partijų panaikinimas
Tiekėjas 1	Vidurkis	5.7%	15.5%	2.3%
	Nuokrypis	7.7%	13.2%	-4.4%
Tiekėjas 2	Vidurkis	5.7%	15.5%	2.3%
	Nuokrypis	7.7%	12.6%	-4.4%

6.6 lentelė. Sandėlio lygių palyginimas esant skirtingiems užsakymų pasiskirstymams (eksponentinio pasiskirstymo modelių pranašumas)

Grandinės dalyvio sandėlis	Parametras	Užsakymo partijų panaikinimas	Informacijos pateikimas	Informacijos pateikimas ir partijų panaikinimas
Paskirstytojo 1	Vidurkis	27.5%	18.9%	26.1%
	Nuokrypis	31.1%	36.1%	58.4%
Paskirstytojo 2	Vidurkis	28.6%	-0.8%	-5.6%
	Nuokrypis	7.3%	-15.1%	-17.7%
Gamintojo prekių	Vidurkis	-1.8%	7.5%	1.0%
	Nuokrypis	-30.0%	16.2%	-1.4%
Gamintojo komponentų 1	Vidurkis	-8.8%	6.7%	-4.2%
	Nuokrypis	-8.8%	5.3%	-18.3%
Gamintojo komponentų 2	Vidurkis	-8.9%	6.8%	-4.4%
	Nuokrypis	-7.6%	4.7%	-17.4%
Tiekėjo 1	Vidurkis	15.1%	0.6%	-0.8%
	Nuokrypis	52.9%	-0.5%	-2.7%
Tiekėjas 2	Vidurkis	15.1%	-0.1%	0.0%
	Nuokrypis	52.9%	-12.2%	0.0%

Siekiant išsiaiškinti, kodėl neapibrėžtumo efekto mažinimo priemonių efektyvumas buvo didesnis esant eksponentiniam vartotojų užsakymų pasiskirstymui lyginant su normaliuoju užsakymų pasiskirstymu, buvo analizuoti šių pasiskirstymų duomenys.

Visų pirma esant skirtingiems užsakymų pasiskirstymo dėsniams buvo gauti skirtingi užsakymų svyravimai. Nors ir vidutiniai vartotojų užsakymai paskirstytojams gauti pakankamai panašūs, tačiau standartinis nuokrypis buvo mažesnis esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui. Taip pat skyrėsi ir maksimalus vienos savaitės vartotojų užsakymo dydis. Esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui maksimali užsakymo vertė buvo 117 prekių pas *Paskirstytoją 1* ir 101 prekė pas *Paskirstytoją 2*. Tuo tarpu esant normaliajam užsakymų pasiskirstymui, šios vertės buvo atitinkamai 82 ir 85 prekės. Kadangi imitaciniam modeliavimui užsakymų pasiskirstymo dėsnis tiesioginės įtakos neturi (neatliekami jokie veiksmai, priklausantys nuo pasiskirstymo dėsnio), todėl galima teigti, kad skirtingam priemonių efektyvumui įtakos turi skirtingas užsakymų svyravimo lygis.

Esant didesniai vartotojų užsakymų svyravimo lygiui, neapibrėžtumo mažinimo priemonių efektyvumas yra didesnis. Tai pastebėta naudojant visas neapibrėžtumo mažinimo priemones. Kadangi kiekvienas grandinės dalyvis stiprina svyravimų lygį, esant didesniems vartotojų užsakymų svyravimams, dėl prognozavimo paklaidos svyravimai stiprėja labiau (paskirstytojas, planuodamas užsakymą pagal praeities duomenis, užsakymą padidindamas 90 proc., užsakymų svyravimą labiau sustiprins esant didesniai užsakymų svyravimui iš vartotojų). Todėl bendras neapibrėžtumo efekto lygis yra didesnis. Panaudojant informacijos pateikimą ir planuojant sandėlio ir gamybos apimtį pagal galutinio vartotojo užsakymus, visų grandinės dalyvių įnešta paklaida eliminuojama. Todėl ir priemonės efektyvumas yra didesnis esant didesniai vartotojų užsakymų svyravimui.

Taip pat tyrimai parodė, kad esant pakankamai nedidelei vartotojų užsakymų svyravimų pokyčiui, neapibrėžtumo efekto mažinimo priemonių efektyvumas skiriasi daugiau.

Toliau pateikiamos apibendrintos šio darbo išvados.

7 Išvados

Atlikus tiekimo grandinės imitacinį modeliavimą, galima padaryti tokias išvadas:

1. Imitacinis modeliavimas yra puiki priemonė analizuoti kylančius klausimus. Nagrinėjant sudėtingas sistemas, jas sunku aprašyti matematiškai, siekiant gauti kiekybinius rodiklius. Tuo tarpu imitacinis modelis leidžia gauti tokios sistemos kiekybinius rezultatus. Be to, galima sumodeliuoti realią sistemą
2. Yra nemažai mokslinių straipsnių apie neapibrėžtumo efektą, tačiau tik pastaruoju metu pradedama ne tik pateikti šio efekto egzistavimo įrodymus bet ir pateikiamos efekto mažinimo priemonės. Be to, daugėja efekto modeliavimo darbų, parodančių vienu ar kitu priemonių efektyvumą konkrečiomis situacijomis.
3. Darbe buvo analizuotos dvi neapibrėžtumo efekto mažinimo priemonės: prekių partijų panaikinimas ir vartotojų užsakymų informacijos pateikimas visiems grandinės dalyviams. Iš gautų tyrimo rezultatų matyti, kad didžiausią įtaką neapibrėžtumo efekto tiekimo grandinėse mažinimui turi vartotojų užsakymo informacijos pateikimas visiems grandinės dalyviams. Tokiu būdu kiekvienas dalyvis savo išteklius ir resursus planuoja ne pagal tiesioginį savo pirkėją, bet pagal galutinio vartotojo paklausą. Tai sumažina užsakymų svyravimus ir todėl mažėja neapibrėžtumo efektas. Užsakomų prekių partijų panaikinimas nedaug sumažina neapibrėžtumo efektą. Šio efekto sumažinimo lygis priklauso nuo partijų dydžio sumažinimo lygio: kuo partijų dydis daugiau sumažinamas, tuo ir neapibrėžtumo efektas daugiau sumažėja.
4. Neapibrėžtumo efekto mažinimo priemonių efektyvumas priklauso nuo pačios tiekimo grandinės ir jos parametrų. Tyrimai parodė, kad, priklausomai nuo vartotojų generuojamo užsakymo pobūdžio, gaunami skirtingi neapibrėžtumo efekto sumažinimo lygiai. Esant pastovesniam vartotojų užsakymų srautui (trukmės tarp vartotojų užsakymų pasiskirsčiusios pagal normalųjį skirstinį), informacijos pateikimas visiems grandinės dalyviams neapibrėžtumo efektą sumažina mažiau, nei kad esant netolygesniam vartotojų užsakymų srautui (trukmės tarp vartotojų užsakymų pasiskirsčiusios pagal eksponentinį skirstinį). Tai paaiškinama tuo, kad esant didesniems užsakymų svyravimams, didesnis ir neapibrėžtumo efekto lygis, kurį galima efektyviau sumažinti panaudojant įvairias priemones.
5. Negalima visiškai panaikinti neapibrėžtumo efekto. Įvairios neapibrėžtumo mažinimo priemonės leidžia tik sumažinti neapibrėžtumo efektą iki tam tikro lygio.

6. E-verslas ir su juo susijusios informacinės technologijos (IT) bei sistemos (IS) leidžia sumažinti neapibrėžtumo efektą tiekimo grandinėse. Visų pirma su e-verslu yra susiję įvairių užsakymo, resursų planavimo, prognozavimo ir kitų sistemų panaudojimas (pavyzdžiui, EDI, SCM, ERP ir pan.). Šios sistemos leidžia efektyviai panaudoti darbe analizuotas ir kitas neapibrėžtumo efekto mažinimo priemones. Kai kurios priemonės iš viso negali būti įdiegtos be IT. Antra, e-verslas leidžia sutrumpinti pačią tiekimo grandinę (panaikinant kai kuriuos tarpinius prekių paskirstymo dalyvius) ir tokiu būdu sumažina patį neapibrėžtumo efektą.
7. Šis imitacinis tiekimo grandinės modelis yra pirminis tiekimo grandinės modeliavimas. Todėl siūloma toliau testuoti neapibrėžtumo efekto mažinimo priemonių modeliavimą. Siūlyčiau visų pirma išanalizuoti kitų vartotojų užsakymų srautų pasiskirstymo dėsnį įtaką neapibrėžtumo efektui ir jo mažinimo priemonėms. Be to, reikia įvertinti ir prekių pristatymo trukmės ir resursų bei gamybos peržiūrėjimo periodų trukmės įtaką neapibrėžtumo efektui. Toliau siūlau išanalizuoti kitų neapibrėžtumo efekto mažinimo priemonių įtaką mažinant neapibrėžtumo lygį. Taip pat šį tiekimo grandinės modelį galima sėkmingai pritaikyti modeliuojant kitas (kitokios struktūros ir sudėtingumo) tiekimo grandines Rockwell Arena imitacinio modeliavimo programa. Be imitacinio modeliavimo taip pat galima atlikti ir kai kurių parametrų ribinių reikšmių paskaičiavimus. Tokiu atveju gerai tinka eksponentinis užsakymų pasiskirstymo dėsnis, nes būtent jis lengvai aprašomas matematinėmis formulėmis.

8 Literatūra

1. Angerhofer B. J., Angelides M. C. System dynamics modelling in supply chain management: research review. Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, p. 342-351.
2. Beyer D., Sethi S. P. The Classical Average-Cost Inventory Models of Igglehart and Veinott-Wagner Revisited. Journal of Optimization Theory and Applications, Vol. 101, No. 3, 1999, p. 523-555.
3. Cachon G. P., Fisher M. Supply Chain Inventory Management and the value of Shared Information. Management Science, Vol. 46, 2000, p. 1032-1048.
4. Caplin A. S. The variability of aggregate demand with (S, s) inventory policies. Econometrica, 53, 6, 1985, p. 1395-1407.
5. Chen F., Drezner Z., Ryan J., Simchi-Levi D. Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead times and Information. Management Science, Vol. 46, 2000, p. 436-443.
6. Chen F., Drezner Z., Ryan J., Simchi-Levi D. The Impact of Exponential Smoothing Forecasts on the Bullwhip Effect. Naval Research Logistics, Vol. 47, 2000, p. 269-286.
7. Chen Y., Peng Y., Finin T., Labrou Y., Cost S., Chu B., Sun R., Wilhelm B. A negotiation-based Multi-agent System for supply chain management. Third Conference on Autonomous Agents (Agents-99), Workshop on Agent based Decision-Support for Managing the Internet-Enabled Supply-Chain, Seattle, 1999.03.
8. Dias G. P. P., Yoshizaki H. T. Y. A simulation study to quantify opportunities for E-business in a drug distribution system. Proceedings of the Thirteenth Annual Conference of the Production and Operations Management Society, POMS-2002, April 5 – April 8, 2002, San Francisco, California.
9. Disney S. M., Naim M. M., Potter A. Assessing the impact of e-business on supply chain dynamics. Proceedings of the 12th International Working Conference on Production Economics, Igls, Austria, 18-22 February (2002), Vol. 3, p.103-113.
10. Ehrharde R. The power approximation for computing (s, S) inventory policies. Management Science, 25, 8, 1979, p. 777-786.
11. Forrester J. W. Industrial Dynamics: a major breakthrough for decision makers. Harvard Business Review, Vol. 36, Issue 4, 1958, p.37-66.

12. Gavirneni S., Kapuscinski R., Tayur S. Value of Information in Capacitated Supply Chains. *Management Science*, Vol. 45, 1999, p. 16-24.
13. Grundey, D., Gargasas A., Šnapštienė R. Tiekimo grandies valdymo ir informacijos aprūpinimo sąveika: partnerystė paremta filosofija. *Ekonomika ir vadyba / Vilniaus Universiteto Kauno humanitarinis fakultetas*, 2002, nr. 2(6), p. 36-44.
14. Guyer P. The future of supply chain management. An interview with David Simchi-Levi. *Parcel, shipping and distribution*, 2001.
15. Hong-Minh S. Re-engineering the UK private house building supply chain. Thesis for Doctor of Philosophy Degree, University of Wales, 2002.
16. Hugos M. *Essentials of Supply Chain Management*. John Wiley & Sons. 2003.
17. Iglehart D. L. Optimality of (s, S) policies in infinite horizon dynamic inventory problem. *Management Science*, Vol. 9, Issue 2, 1963, p. 259-267.
18. Kahn J. A. Inventories and the volatility of production. *American Economic Review*, 77, 4 1987, p. 667-679.
19. Kaminskas A. Optimalios tiekimo grandinės vaidmuo bendrame logistikos procese. *Organizacijų vadyba: sisteminiai tyrimai*, 1999, nr. 9, p. 15-24.
20. Kavaliauskienė V., Survilaitė-Bagdonavičiūtė N. Logistikos tendencijos: inovacijos logistikos sektoriuje. *Inžinerinė ekonomika*, 2004, nr. 5(40), p. 97-102.
21. Kazaz B., Moskowitz H. An active learning exercise: supplying hoop dreams. Loyola University Chicago, 1999.
22. Keskinocak P., Tayur S. Quantitative Analysis for Internet-Enabled Supply Chains. *Interfaces*, Vol. 31, No. 2, 2001, p. 70-89.
23. Lee H., Billington C. Managing supply chain inventory: pitfalls and opportunities. *Sloan Management Review*, Vol. 33, No. 3, 1992, p. 65-73.
24. Lee H., Padmanabhan P., Whang S. The Bullwhip Effect in supply Chains. *Sloan Management Review*, Vol. 38, 1997, p. 93-102.
25. Lee H. L., Padmanabhan V., Whang S. Information distortion in a supply chain: the bullwhip effect. *Management Science*, 43(4), 1997, p. 546-558.
26. Lee H., So K., Tang C. The Value of Information Sharing in a Two-Level Supply Chain. *Management Science*, Vol. 46, No. 5, 2000, p. 626-643.
27. Lee H., Tang C. Variability reduction through operations reversal. *Management Science*, 44, 2, 1998, p. 162-172.

28. Liu H. Improving supply chain management with statistical quality methods. Dr. thesis, The Hong Kong University of Science and Technology, 2001.
29. Moinszadeh K. A multi-echelon inventory system with information Exchange. Working Paper, School of Business, University of Washington. Seattle, 1999.
30. Moyaux. T. Design, simulation and analysis of collaborative strategies in multi-agent systems: the case of supply chain management. Ph.D thesis, University Laval, 2004.
31. Nienhaus J., Ziegenbein A., Duijts C. How Human Behaviour amplifies the Bullwhip Effect – A Study based on the Beer Distribution Game online. In Proceedings of the 7th International Workshop of the IFIP WG 5.7 on Experimental Interactive Learning in Industrial Management, Aalborg (Denmark), 2003.03.22–24.
32. Patel K., McCarthy M. P. Digital Transformation. The Essentials of e-Business Leadership. New York, 2000.
33. Scarf H. The optimality of (S, s) policies in the dynamic inventory problem. Chapter 13, Mathematical Methods in the Social Sciences (K. Arrow, S. Karlin, P. Suppes), Stanford University Press, 1960.
34. Smith D. K. Dynamic programming and inventory management: what has been learnt in the last generation? In Proceedings of the 1999 ISIR Workshop on Inventory Management, Exeter, 2000.
35. Serman J. D. Modeling managerial behaviour: misperceptions of feedback in a dynamic decisionmaking experiment. Working paper, Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology, 1987.
36. Swaminathan J. M., Smith S. F., Sadeh N. M. Modeling Supply Chain Dynamics: A Multiagent Approach. Decision Science, 29, 3, 1998, p. 607-632.
37. Tsay A., Nahmias S., Agrawal N. Modeling Supply Chain Contracts: A Review. Quantitative Models for Supply Chain Management (Volume 17 of International Series in Operations Research and Management Science), Tayur S., Ganeshan R. ir Magazine M. (Eds.), Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 1999, p. 299-336.
38. Veinott A. F., Wagner H. M. Computing optimal (s, S) inventory policies. Management Science, 11, 1965, p. 525-552.
39. Vorst J. van der. Effective Food Supply Chains: Generating, Modelling and Evaluating Supply Chain Scenarios. PhD thesis, Wageningen University, 2000.
40. Wadhwa S., John J., Gandhi A. Managing Innovation in e-Business Based Supply Chain Structures: Role of Demo Models. Studies in Informatics and Control, Vol. 11, No. 3, 2002, p. 217-231.

41. Židonis Ž. The emergence and evolution of the concept of the supply chain management. Transport. Vilnius: Technika, 2001, nr. 4., p. 154–157.
42. The Beer Distribution Game. Žaidimas. <http://www.beergame.lim.ethz.ch>
43. The Quebec Wood Supply Game. Žaidimas.
<http://www.forac.ulaval.ca/woodsupplygame/aidejeubois/EN/indexEN.htm>
44. www.amazon.com

9 Priedai

9.1 Imitaciniai Arena modeliai

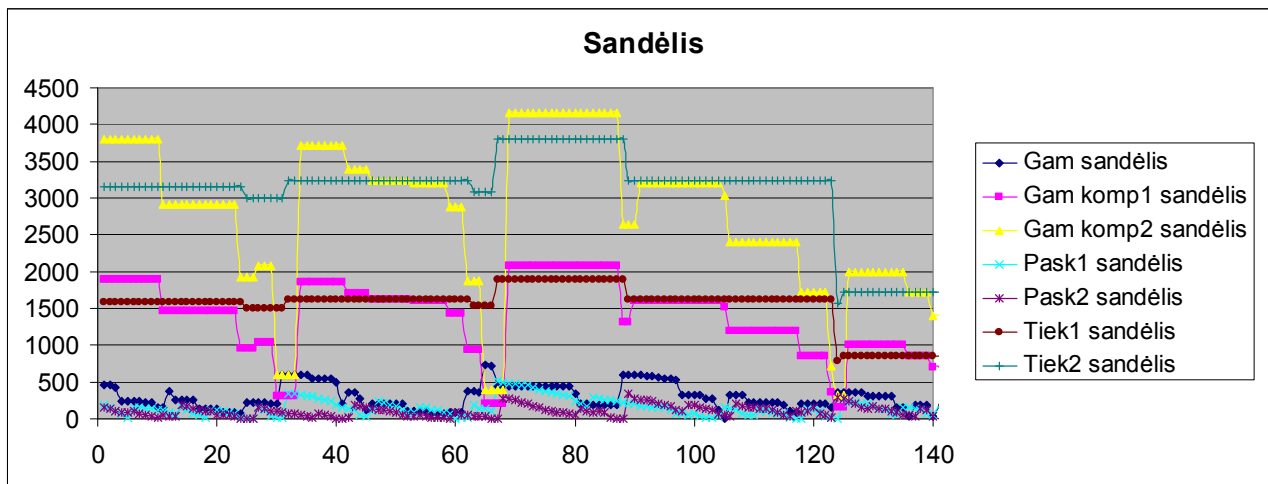
Aštuoni Arena modeliai (failai) pateikti kompaktiniame diske kartu su šiuo darbu. Modeliai sukurti Rockwell Arena 7.01 versija. Atskirai išskirtos direktorijos eksponentiniam ir normaliajam užsakymų pasiskirstymams. Pateikti failai tokiais pavadinimais:

- *magistrinis_1.doe* – pirminis modelis;
- *magistrinis_1.xls* – pirminio modelio duomenų kaupimo Excell failas;
- *magistrinis_1_batching.doe* – partijų panaikinimo modelis;
- *magistrinis_1_batching.xls* – partijų panaikinimo modelio duomenų kaupimo Excell failas;
- *magistrinis_1_forecasting.doe* – informacijos pateikimo modelis;
- *magistrinis_1_forecasting.xls* – informacijos pateikimo modelio duomenų kaupimo Excell failas;
- *magistrinis_1_forecasting&batching.doe* – bendras informacijos pateikimo ir partijų panaikinimo modelis;
- *magistrinis_1_forecasting&batching.xls* – bendro informacijos pateikimo ir partijų panaikinimo modelio duomenų kaupimo Excell failas.

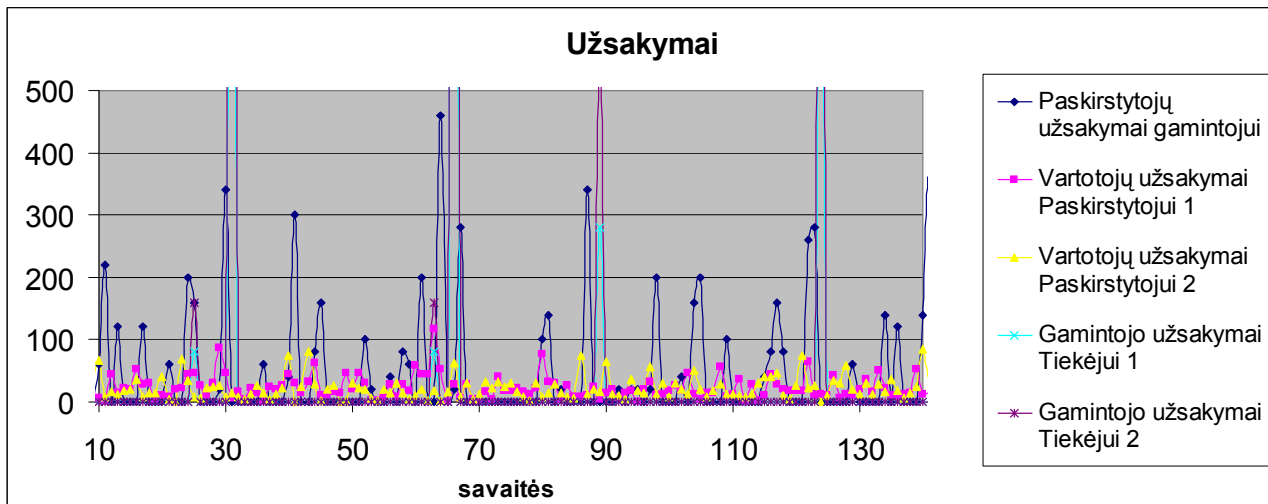
9.2 Pirminiai rezultatai

Visi pirminiai rezultatai (pilni imitacinio modeliavimo duomenys) yra pateikti kompaktiniame diske (CD), pateiktame su šiuo darbu. Failų pavadinimai yra analogiški 9.1 skyriuje pateiktiems rezultatų failų pavadinimams. Čia pateikiami tik grafikai.

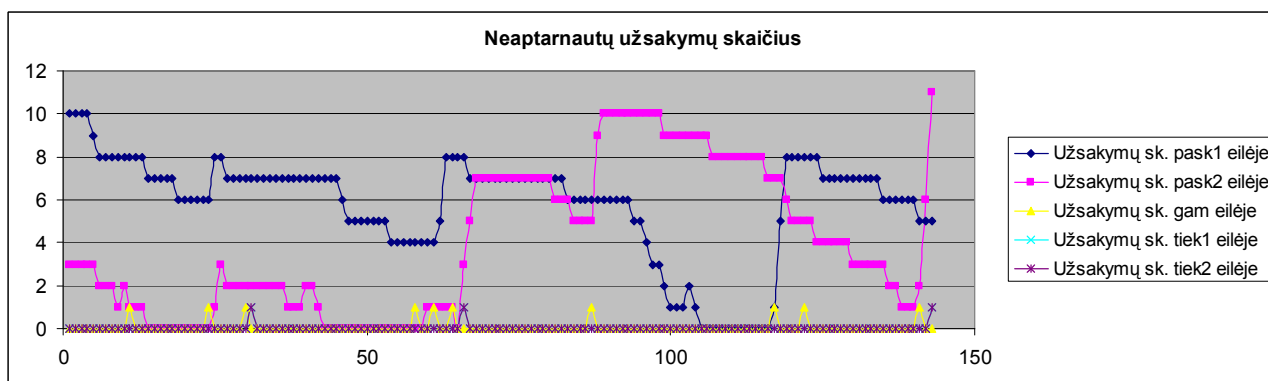
9.2.1 Eksponentinis užsakymų pasiskirstymas



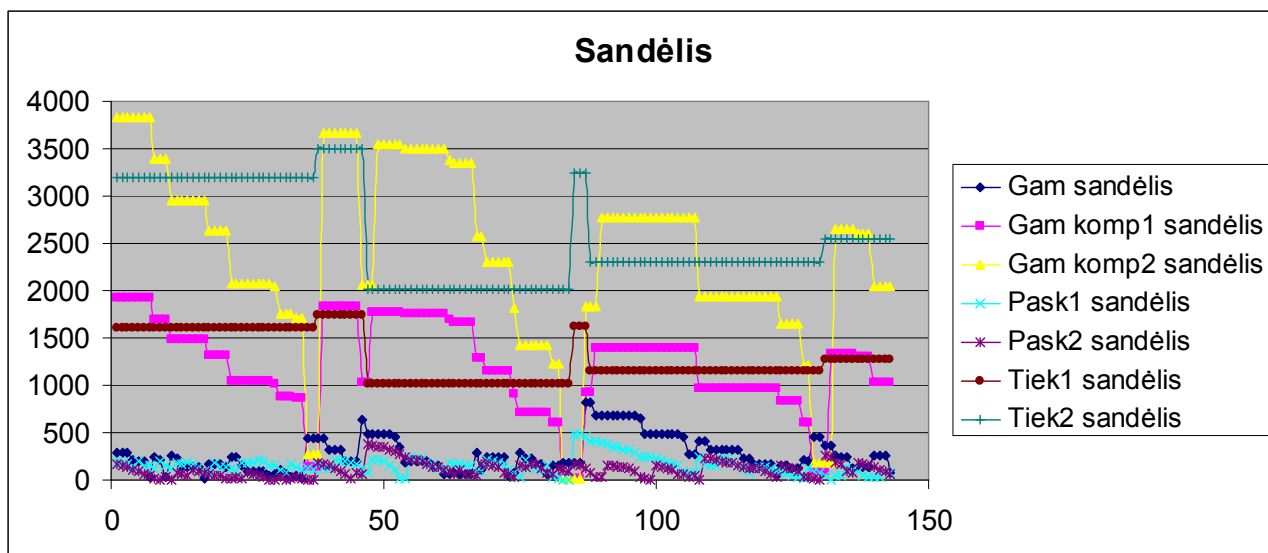
1 pav. Sandėlio lygis pirminiame modelyje



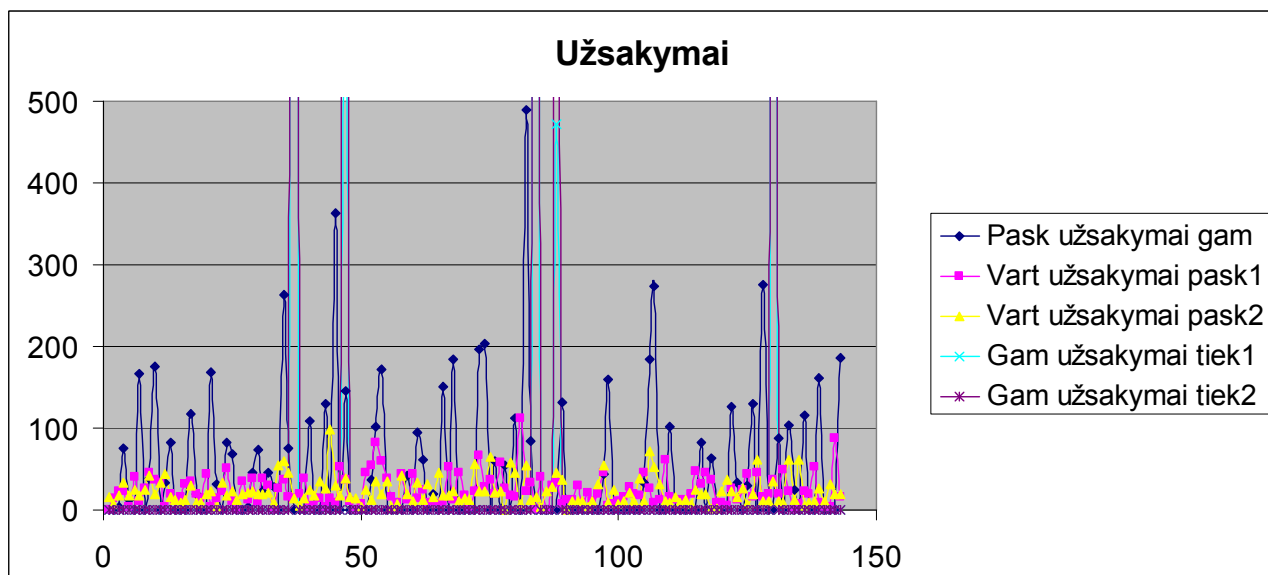
2 pav. Užsakymai pirminiame modelyje



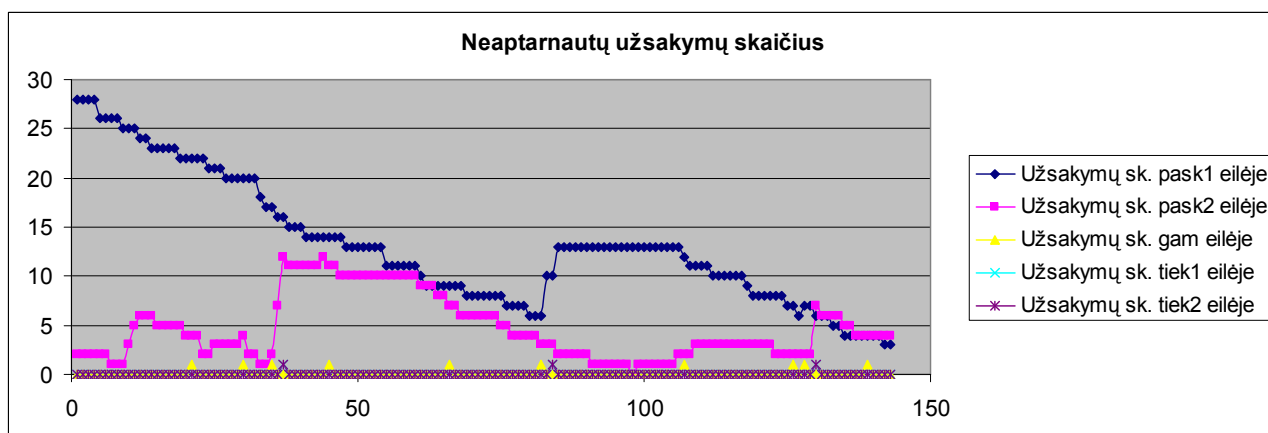
3 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius pirminiame modelyje



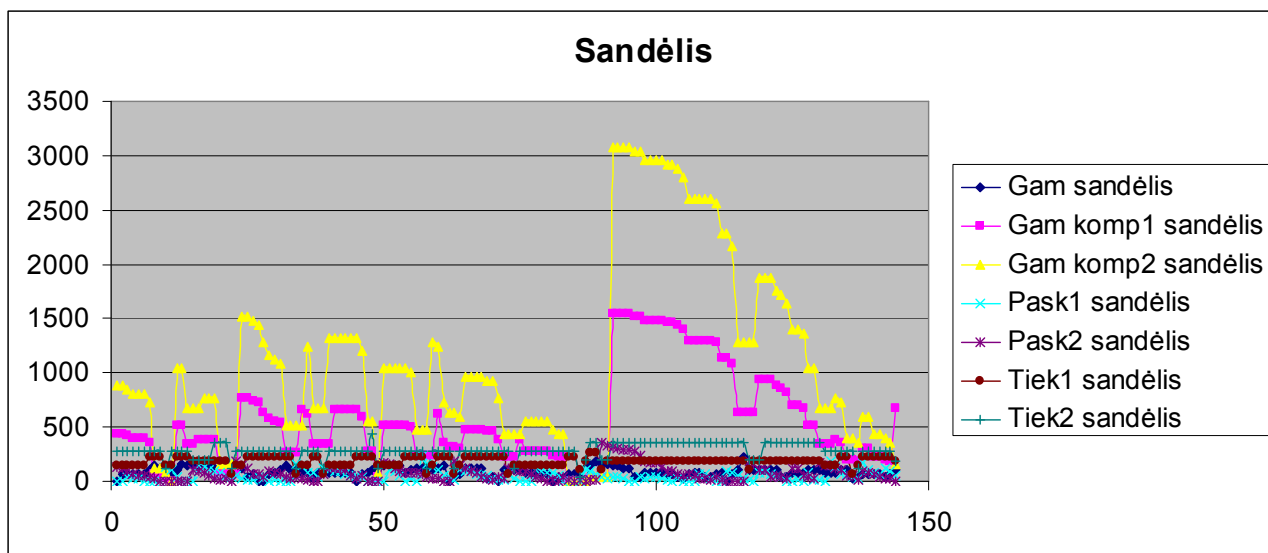
4 pav. Sandėlio lygis partijų panaikinimo modelyje



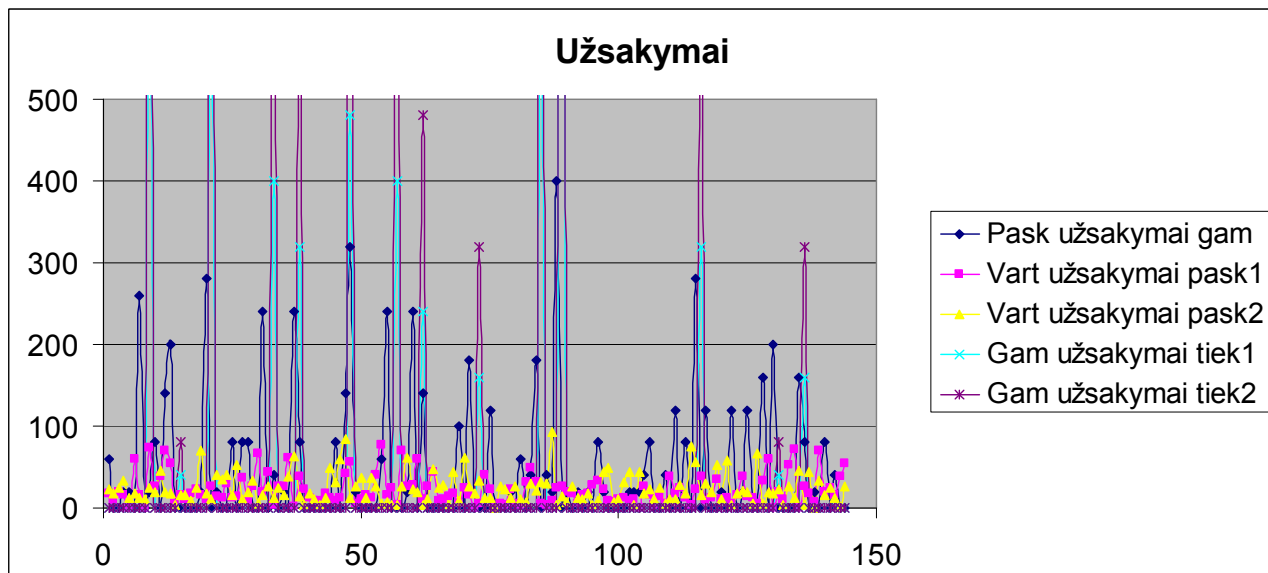
5 pav. Užsakymai partijų panaikinimo modelyje



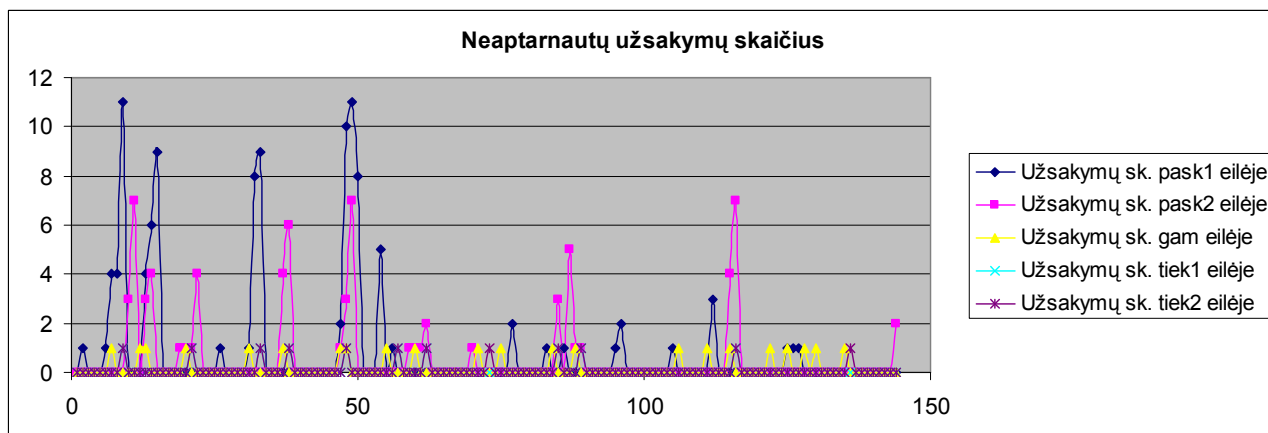
6 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius partijų panaikinimo modelyje



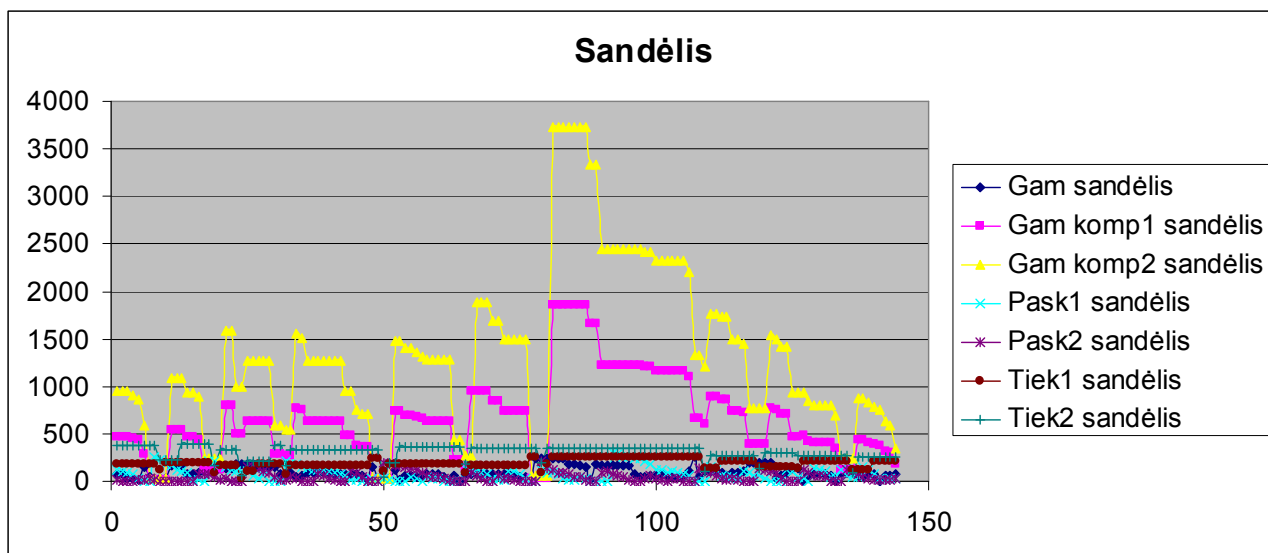
7 pav. Sandėlio lygis informacijos pateikimo modelyje



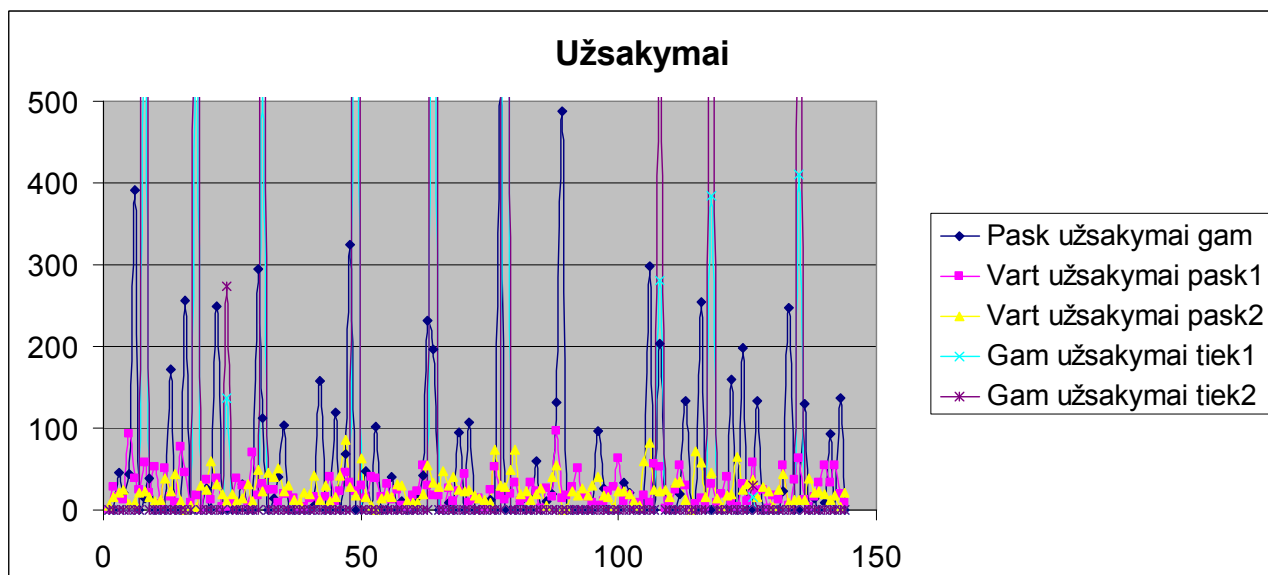
8 pav. Užsakymai informacijos pateikimo modelyje



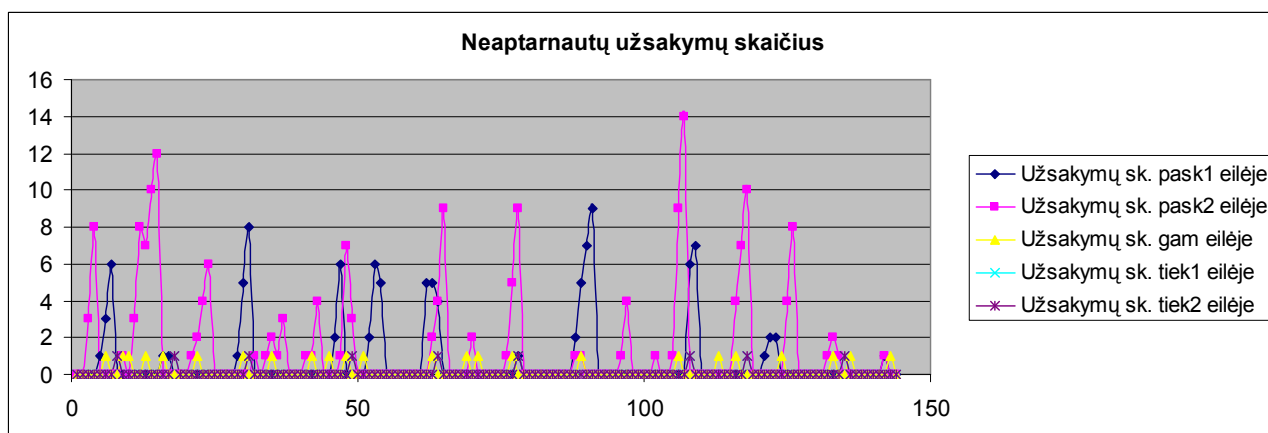
9 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius informacijos pateikimo modelyje



10 pav. Sandėlio lygis informacijos pateikimo ir partijų panaikinimo modelyje

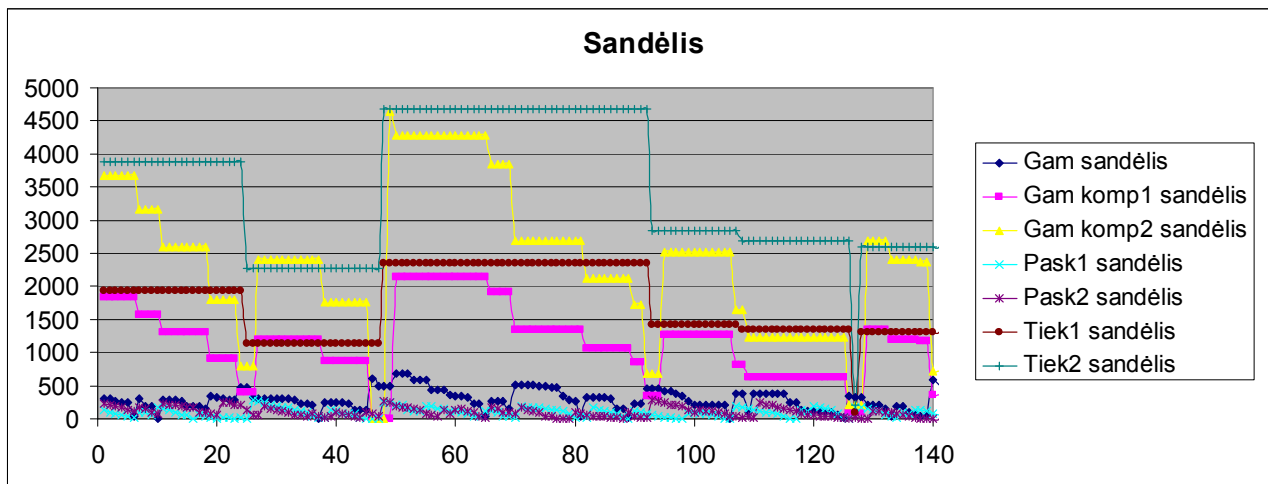


11 pav. Užsakymai informacijos pateikimo ir partijų panaikinimo modelyje

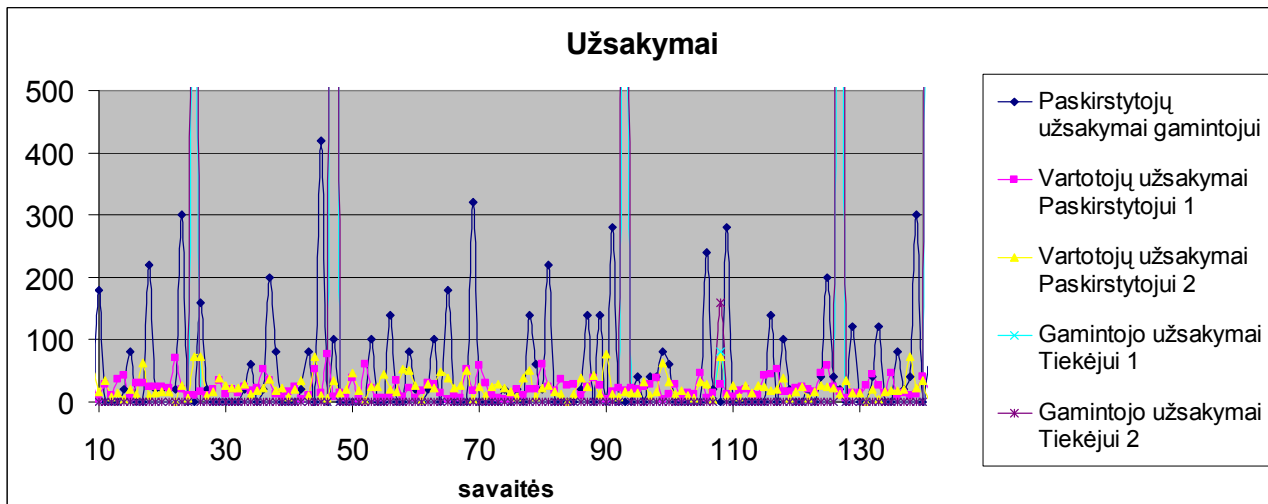


12 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius informacijos pateikimo ir partijų panaikinimo modelyje

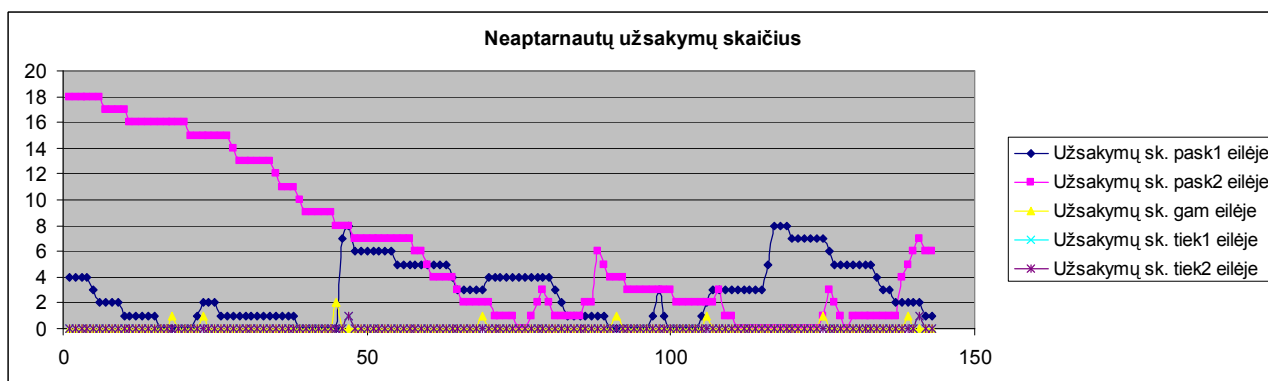
9.2.2 Normalusis užsakymų pasiskirstymas



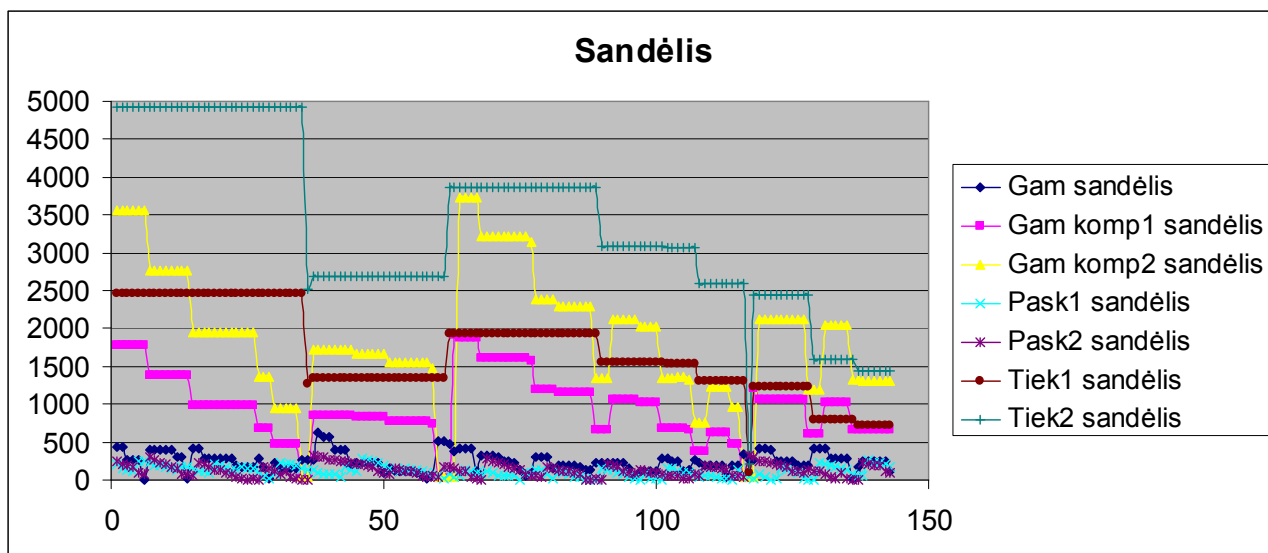
13 pav. Sandėlio lygis pirminiame modelyje



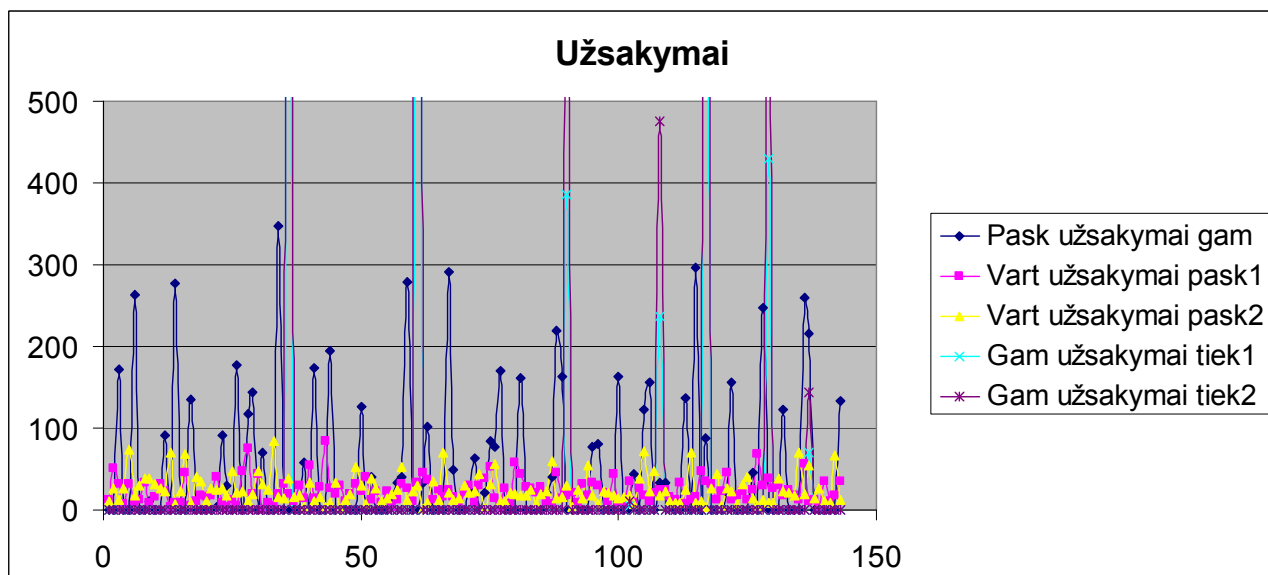
14 pav. Užsakymai pirminiame modelyje



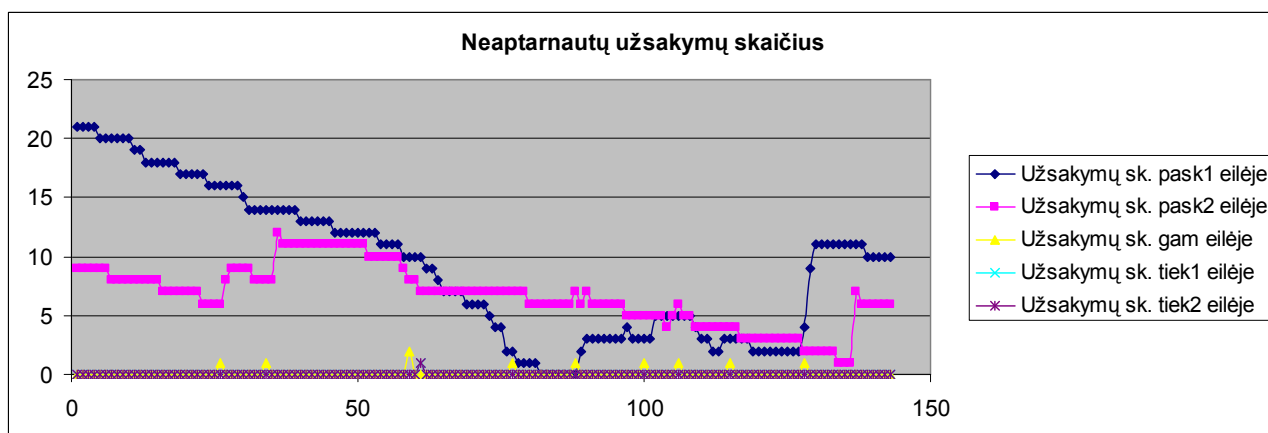
15 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius pirminiame modelyje



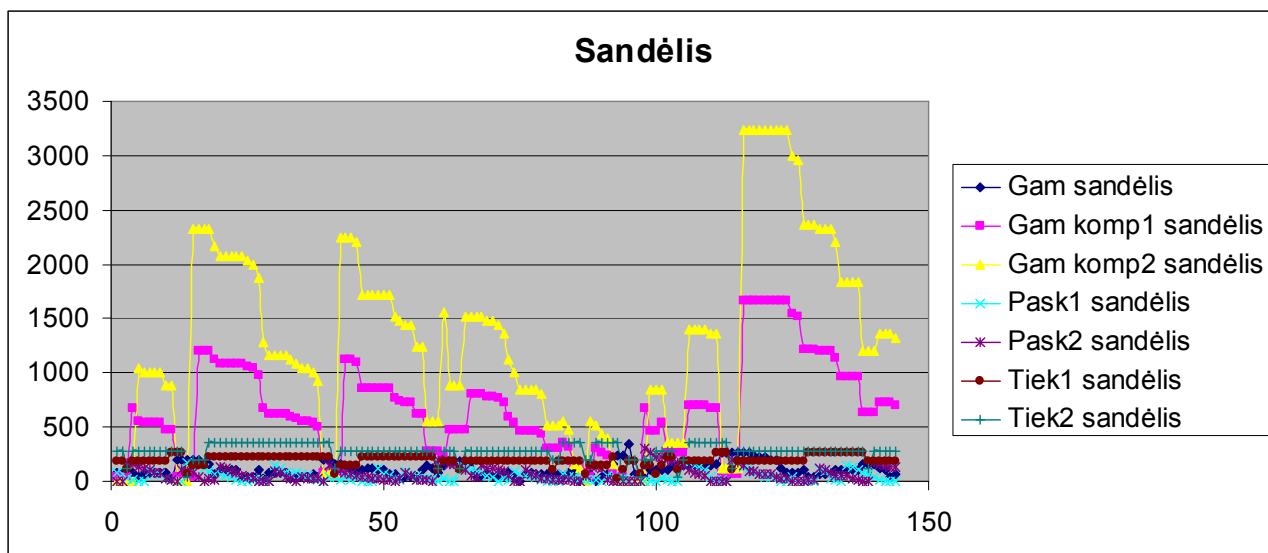
16 pav. Sandėlio lygis partijų panaikinimo modelyje



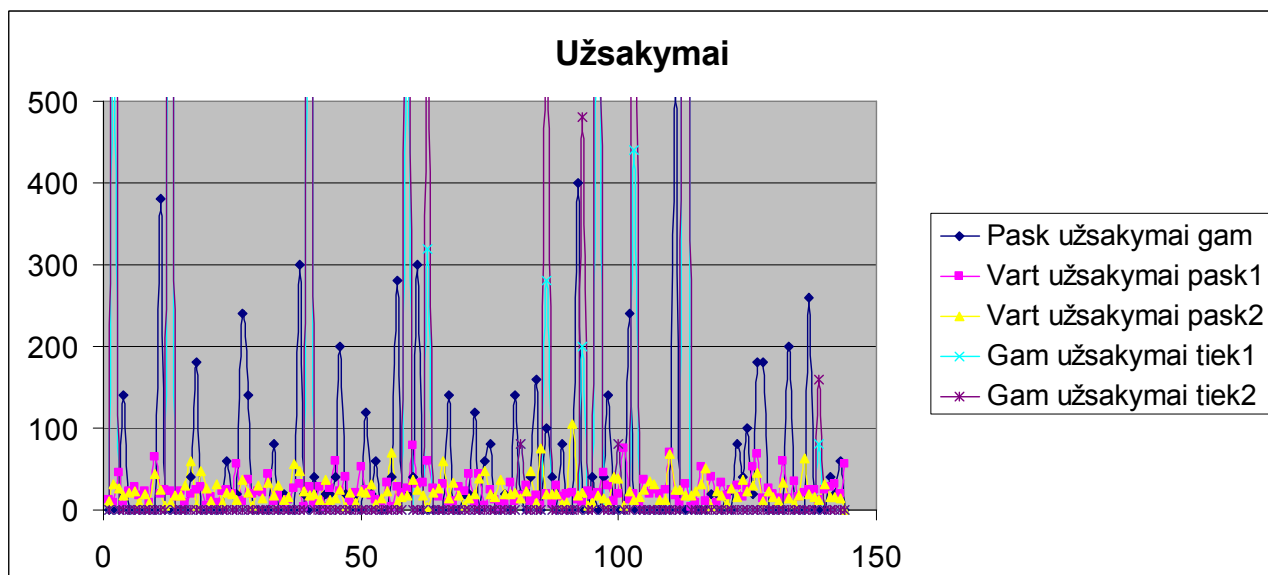
17 pav. Užsakymai partijų panaikinimo modelyje



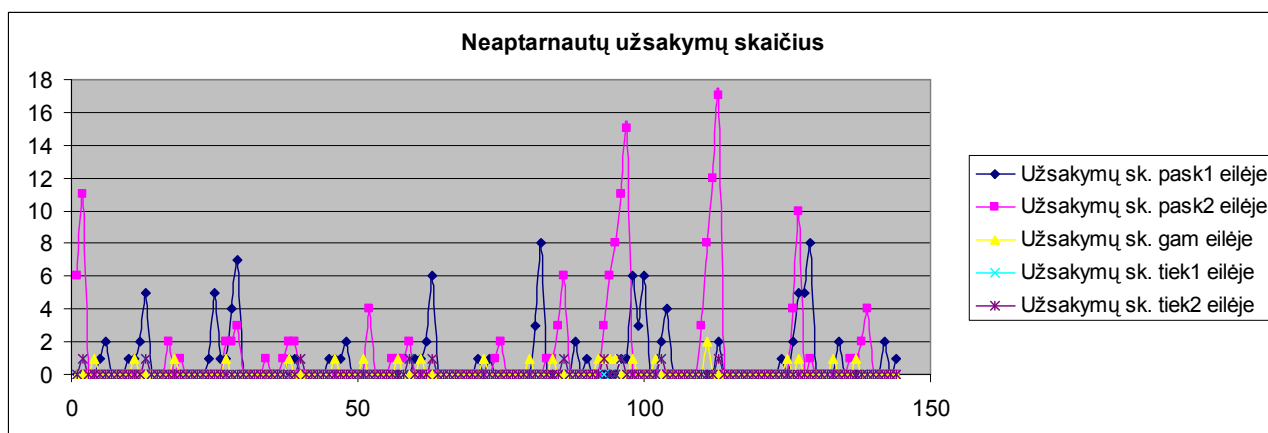
18 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius partijų panaikinimo modelyje



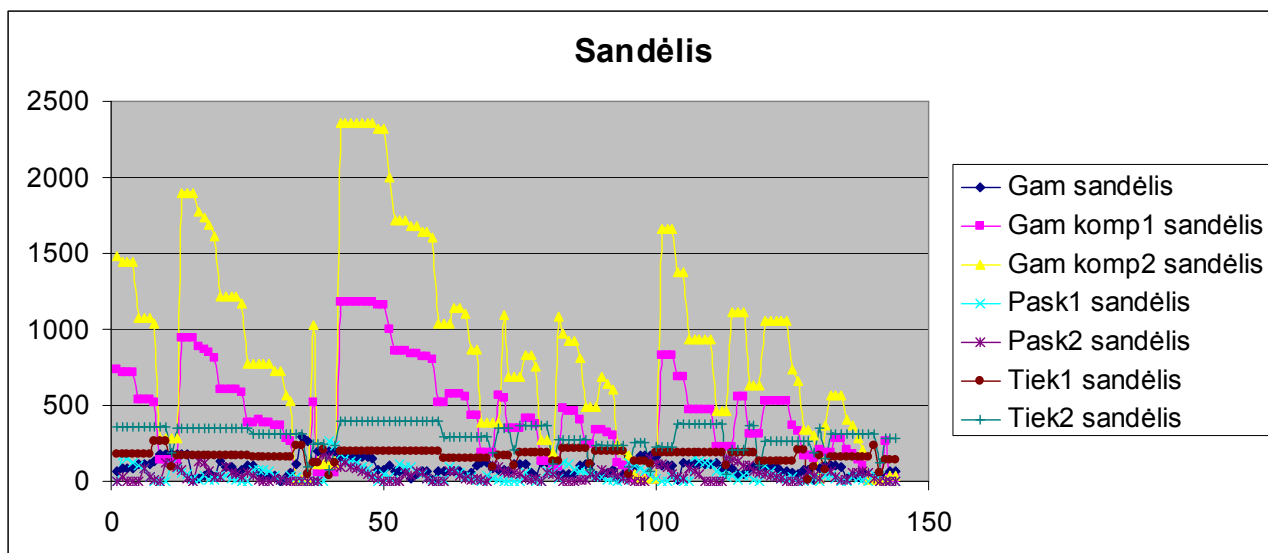
19 pav. Sandėlio lygis informacijos pateikimo modelyje



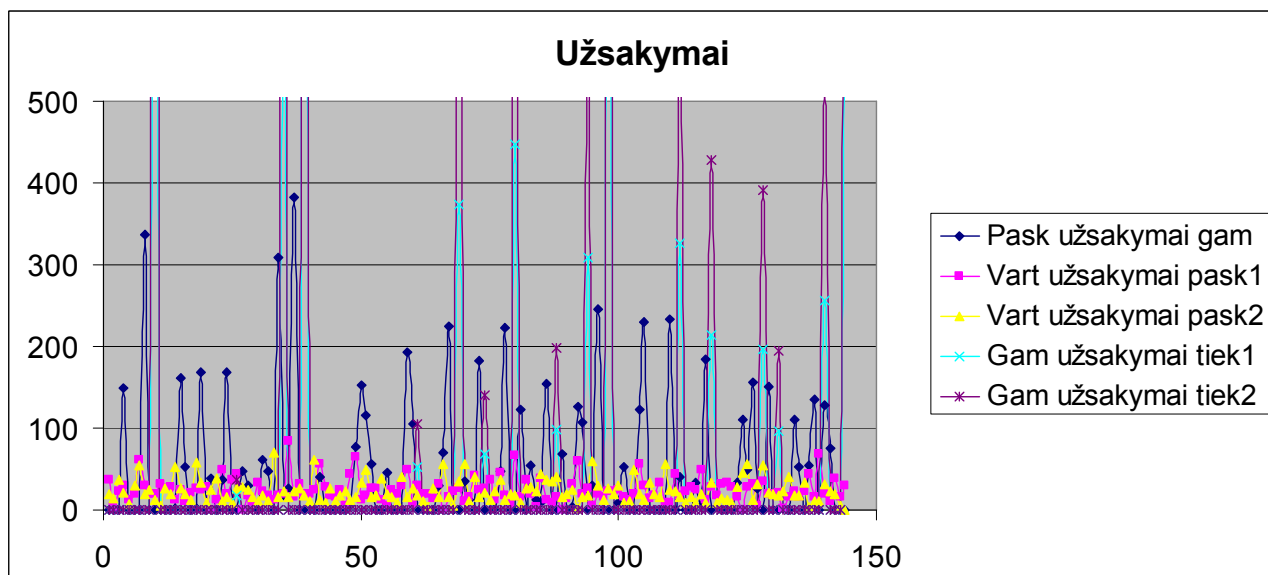
20 pav. Užsakymai informacijos pateikimo modelyje



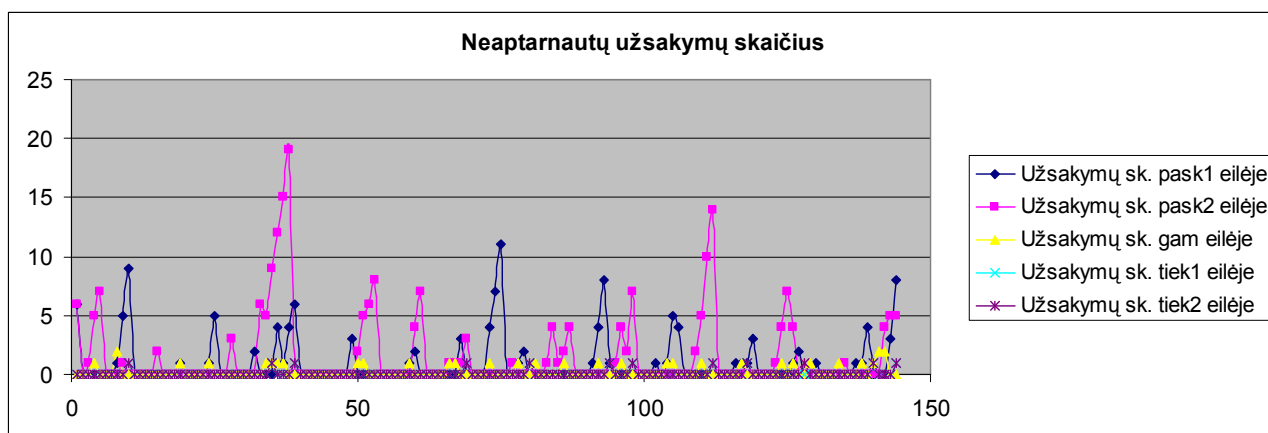
21 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius informacijos pateikimo modelyje



22 pav. Sandėlio lygis informacijos pateikimo ir partijų panaikinimo modelyje



23 pav. Užsakymai informacijos pateikimo ir partijų panaikinimo modelyje



24 pav. Neaptarnautų užsakymų skaičius informacijos pateikimo ir partijų panaikinimo modelyje

9.3 Tyrimo rezultatai

1 lentelė. Visų tiekimo grandinės modeliavimų užsakymų rezultatai

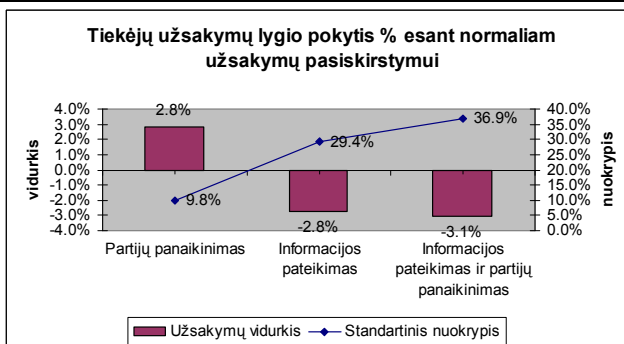
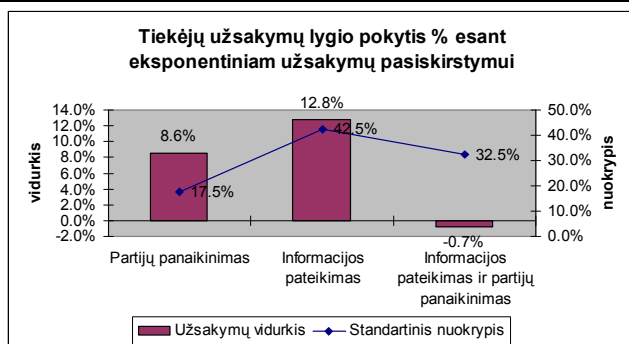
Grandinės dalyvis	Parametras	Pirminis modelis	Užsakymo partijų panaikinimas	Informacijos pateikimas	Informacijos pateikimas ir partijų panaikinimas
Eksponentinis vartotojų užsakymų pasiskirstymas					
Paskirstytojas 1	Vidurkis	22.21	24.27	22.87	23.40
	Nuokrypis	18.13	19.03	17.94	18.80
Paskirstytojas 2	Vidurkis	22.35	22.37	23.05	24.40
	Nuokrypis	17.73	16.33	17.95	18.58
Gamintojas	Vidurkis	44.71	46.48	46.18	48.01
	Nuokrypis	88.36	84.05	78.42	89.38
Tiekėjas 1	Vidurkis	47.54	43.47	41.47	47.87
	Nuokrypis	287.26	237.01	165.15	193.96
Tiekėjas 2	Vidurkis	95.08	86.94	82.93	95.75
	Nuokrypis	574.52	473.97	332.13	387.99
Normalusis vartotojų užsakymų pasiskirstymas					
Paskirstytojas 1	Vidurkis	22.68	23.69	24.09	23.51
	Nuokrypis	14.55	15.01	15.66	16.45
Paskirstytojas 2	Vidurkis	24.28	24.50	22.98	23.33
	Nuokrypis	16.56	17.04	15.92	14.83
Gamintojas	Vidurkis	46.91	48.16	47.23	46.31
	Nuokrypis	79.62	80.72	85.59	79.44
Tiekėjas 1	Vidurkis	45.45	44.15	46.70	46.83
	Nuokrypis	266.86	240.82	188.53	168.50
Tiekėjas 2	Vidurkis	90.89	88.30	93.40	93.66
	Nuokrypis	533.71	481.58	375.71	336.99

2 lentelė. Visų tiekimo grandinės modeliavimų sandėlių rezultatai

Grandinės dalyvio sandėlis	Parametras	Pirminis modelis	Užsakymo partijų panaikinimas	Informacijos pateikimas	Informacijos pateikimas ir partijų panaikinimas
Eksponentinis vartotojų užsakymų pasiskirstymas					
Paskirstytojo 1	Vidurkis	147.39	150.10	55.68	66.74
	Nuokrypis	122.38	99.16	49.72	64.96
Paskirstytojo 2	Vidurkis	114.20	98.59	72.32	53.16
	Nuokrypis	80.32	76.02	73.84	57.54
Gamintojo prekių	Vidurkis	326.70	255.12	85.13	98.45
	Nuokrypis	185.94	190.32	43.10	58.25
Gamintojo komponentų 1	Vidurkis	1461.05	1173.87	523.14	558.05
	Nuokrypis	622.89	500.38	393.74	436.89
Gamintojo komponentų 2	Vidurkis	2919.16	2321.70	996.44	1111.04
	Nuokrypis	1245.78	1009.13	806.96	873.39
Tiekėjo 1	Vidurkis	1711.94	1309.74	173.87	184.67
	Nuokrypis	406.87	253.23	45.81	50.65
Tiekėjas 2	Vidurkis	3423.87	2619.90	288.69	300.01
	Nuokrypis	813.73	506.64	163.58	75.94
Normalusis vartotojų užsakymų pasiskirstymas					
Paskirstytojo 1	Vidurkis	84.57	109.35	47.90	60.32
	Nuokrypis	63.40	71.10	48.66	70.69
Paskirstytojo 2	Vidurkis	100.57	115.63	62.91	41.23
	Nuokrypis	79.39	80.96	61.02	42.83
Gamintojo prekių	Vidurkis	296.96	226.41	99.69	92.59
	Nuokrypis	164.11	118.78	64.61	49.15
Gamintojo komponentų 1	Vidurkis	1361.88	974.88	579.48	462.40
	Nuokrypis	613.54	438.68	420.12	318.22
Gamintojo komponentų 2	Vidurkis	2713.30	1916.85	1109.53	914.30
	Nuokrypis	1220.89	896.16	848.81	643.33
Tiekėjo 1	Vidurkis	1692.25	1550.75	181.26	168.97
	Nuokrypis	445.67	513.35	47.84	43.58
Tiekėjas 2	Vidurkis	3384.50	3101.78	280.84	295.60
	Nuokrypis	891.33	1026.70	70.60	82.76

3 lentelė. Tiekėjų gaunamų užsakymų pokytis lyginant su pirminiu modeliu.

Grandinės dalyvis	Parametras	Užsakymo partijų panaikinimas	Informacijos pateikimas	Informacijos pateikimas ir partijų panaikinimas
Eksponentinis vartotojų užsakymų pasiskirstymas				
Tiekėjas 1	Vidurkis	8.6%	12.8%	-0.7%
	Nuokrypis	17.5%	42.5%	32.5%
Tiekėjas 2	Vidurkis	8.6%	12.8%	-0.7%
	Nuokrypis	17.5%	42.2%	32.5%
Normalusis vartotojų užsakymų pasiskirstymas				
Tiekėjas 1	Vidurkis	2.8%	-2.8%	-3.1%
	Nuokrypis	9.8%	29.4%	36.9%
Tiekėjas 2	Vidurkis	2.8%	-2.8%	-3.1%
	Nuokrypis	9.8%	29.6%	36.9%

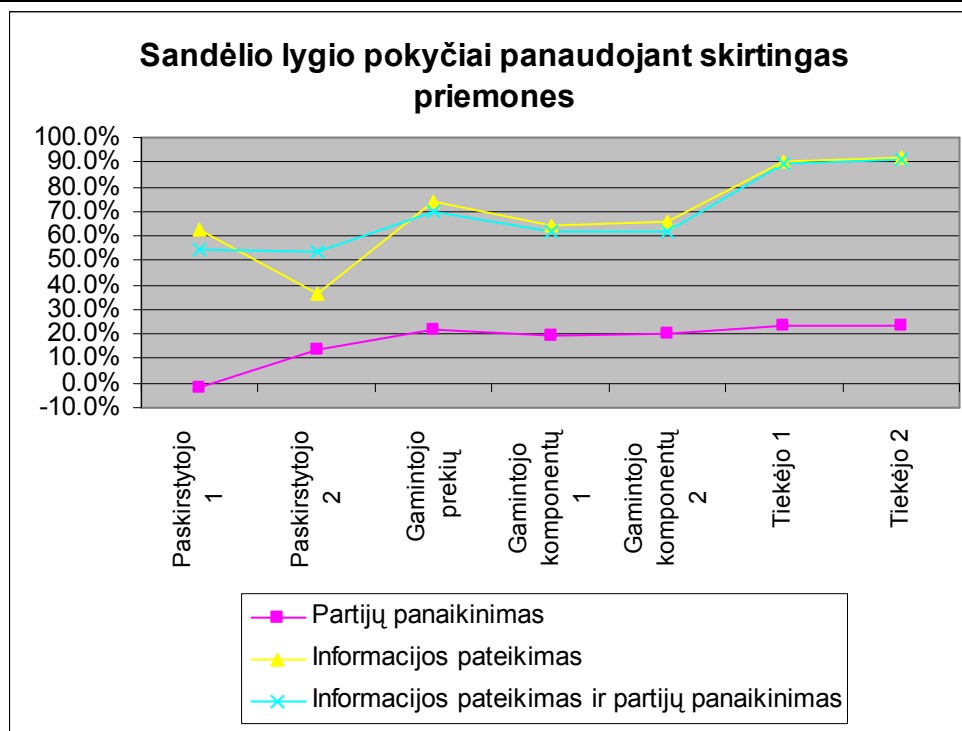


25 pav. Tiekėjų užsakymų lygio pokytis

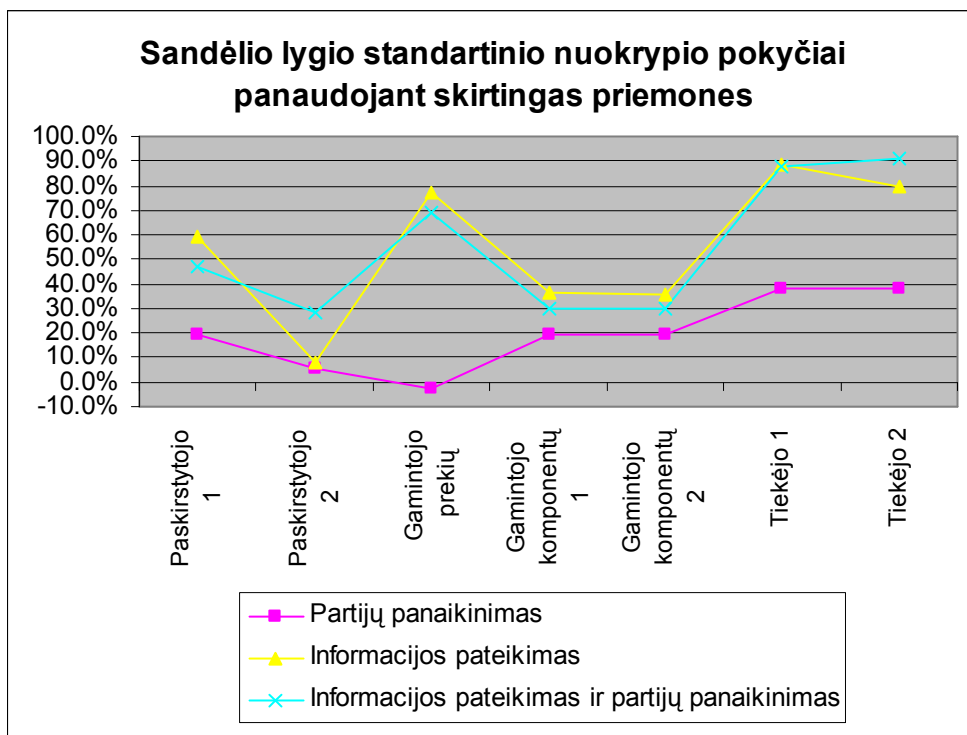
4 lentelė. Sandėlio lygių pokyčiai panaudojant neapibrėžtumo mažinimo priemones

Grandinės dalyvio sandėlis	Parametras	Užsakymo partijų panaikinimas	Informacijos pateikimas	Informacijos pateikimas ir partijų panaikinimas
Eksponentinis vartotojų užsakymų pasiskirstymas				
Paskirstytojo 1	Vidurkis	-1.8%	62.2%	54.7%
	Nuokrypis	19.0%	59.4%	46.9%
Paskirstytojo 2	Vidurkis	13.7%	36.7%	53.5%
	Nuokrypis	5.4%	8.1%	28.4%
Gamintojo prekių	Vidurkis	21.9%	73.9%	69.9%
	Nuokrypis	-2.4%	76.8%	68.7%
Gamintojo komponentų 1	Vidurkis	19.7%	64.2%	61.8%
	Nuokrypis	19.7%	36.8%	29.9%
Gamintojo	Vidurkis	20.5%	65.9%	61.9%

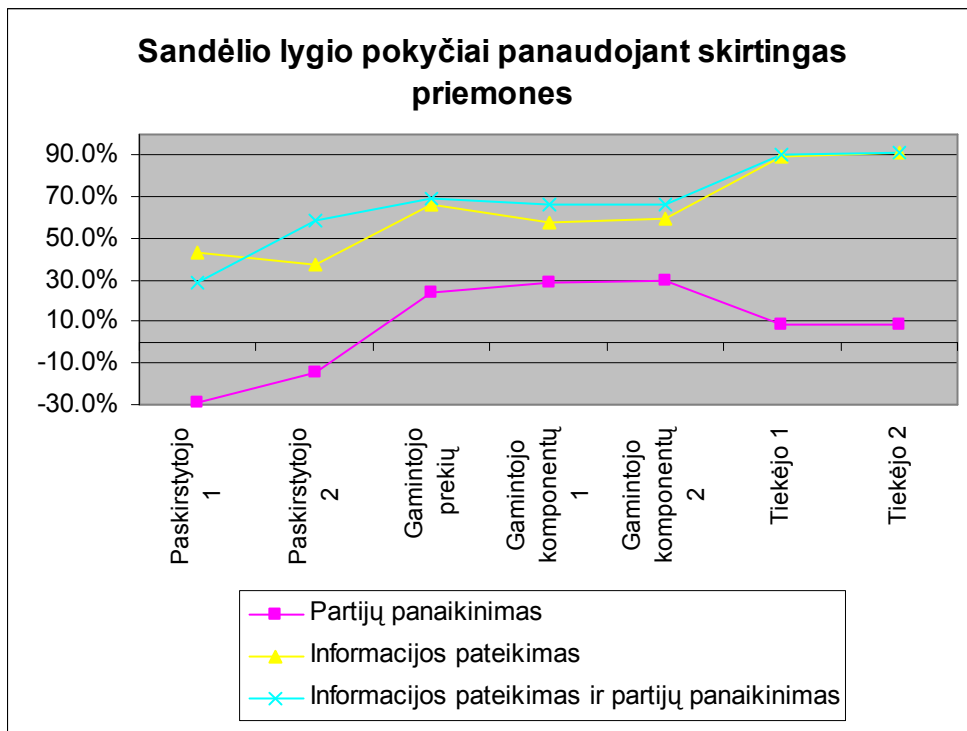
komponentų 2	Nuokrypis	19.0%	35.2%	29.9%
Tiekėjo 1	Vidurkis	23.5%	89.8%	89.2%
	Nuokrypis	37.8%	88.7%	87.6%
Tiekėjas 2	Vidurkis	23.5%	91.6%	91.2%
	Nuokrypis	37.7%	79.9%	90.7%
Normalusis vartotojų užsakymų pasiskirstymas				
Paskirstytojo 1	Vidurkis	-29.3%	43.4%	28.7%
	Nuokrypis	-12.1%	23.3%	-11.5%
Paskirstytojo 2	Vidurkis	-15.0%	37.4%	59.0%
	Nuokrypis	-2.0%	23.1%	46.1%
Gamintojo prekių	Vidurkis	23.8%	66.4%	68.8%
	Nuokrypis	27.6%	60.6%	70.1%
Gamintojo komponentų 1	Vidurkis	28.4%	57.5%	66.0%
	Nuokrypis	28.5%	31.5%	48.1%
Gamintojo komponentų 2	Vidurkis	29.4%	59.1%	66.3%
	Nuokrypis	26.6%	30.5%	47.3%
Tiekėjo 1	Vidurkis	8.4%	89.3%	90.0%
	Nuokrypis	-15.2%	89.3%	90.2%
Tiekėjas 2	Vidurkis	8.4%	91.7%	91.3%
	Nuokrypis	-15.2%	92.1%	90.7%



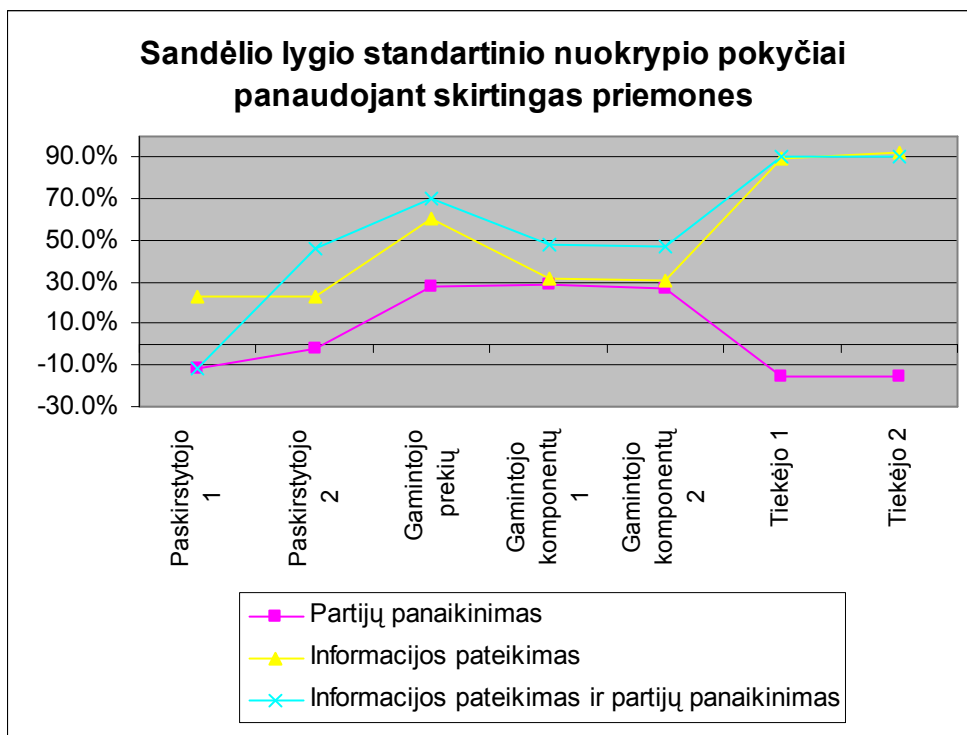
26 pav. Sandėlio vidurkio pokyčiai esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui



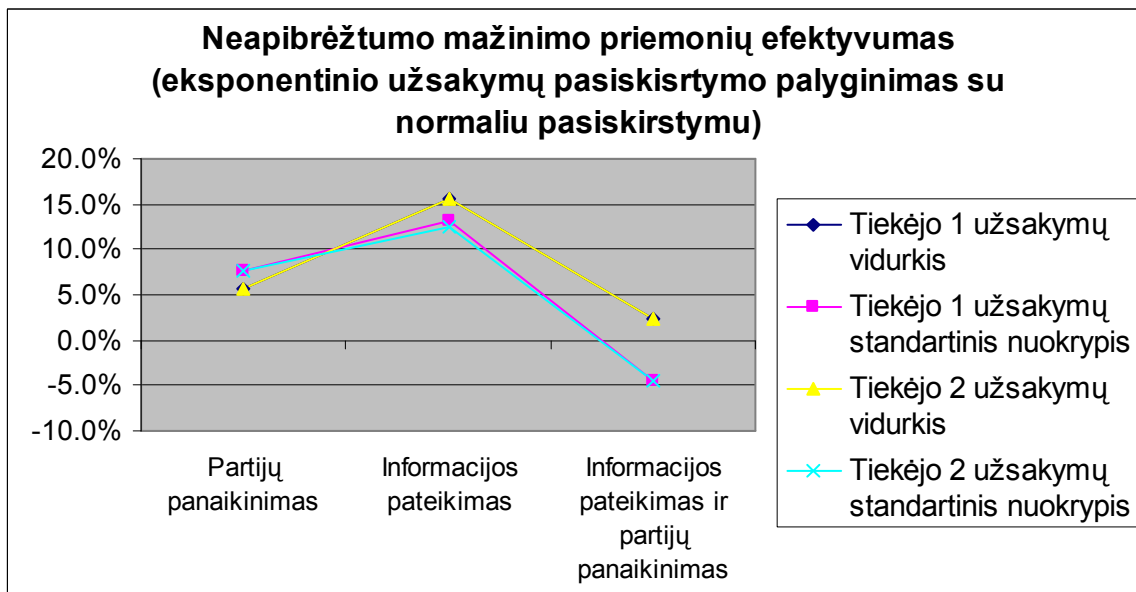
27 pav. Sandėlio lygio standartiniai pokyčiai esant eksponentiniam užsakymų pasiskirstymui



28 pav. Sandėlio vidurkio pokyčiai esant normaliam užsakymų pasiskirstymui



29 pav. Sandėlio lygio standartiniai pokyčiai esant normaliam užsakymų pasiskirstymui



30 pav. Neapibrėžtumo mažinimo priemonių efektyvumo palyginimas