

VILNIAUS UNIVERSITETAS

JOANA KATINA

PROGNOZAVIMO PROBLEMŲ TYRIMAS VIRTUALIOJE
AKCIJŲ BIRŽOJE

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai, informatikos inžinerija (07 T)

Vilnius, 2015

Disertacija rengta 2009–2014 metais Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos institute.

Mokslinis vadovas

Prof. habil. dr. Jonas Mockus (Vilniaus universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07T).

Padėka

Nuoširdžiai dėkoju moksliniam darbo vadovui prof. habil. dr. Jonui Mockui už vertingas mokslines konsultacijas, nuoseklų vadovavimą, pagalbą ir nuolatinį skatinimą tobulėti.

Dėkoju Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos instituto direktoriui prof. habil. dr. Gintautui Dzemydai už suteiktą doktorantūros studijų galimybę, visapusę paramą ir supratimą.

Esu dėkinga disertacijos recenzentams prof. habil. dr. Leonidui Sakalauskui ir doc. dr. Olgai Kurasovai, atidžiai perskaičiusiems disertaciją ir pateikusiems vertingų pastabų ir patarimų, kurie padėjo pagerinti šio darbo kokybę.

Dėkoju Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos instituto Sistemų analizės ir Atpažinimo procesų skyrių kolektyvams už bendradarbiavimą, pagalbą ir palaikymą.

Nuoširdžiai dėkoju vyrui Igoriui ir kitiems šeimos nariams už paramą, moralinį palaikymą, kantrybę ir supratingumą.

Taip pat dėkoju redaktorėms Jorūnei Rimeisytei ir Janinai Kazlauskaitei ir visiems kitiems, kurie tiesiogiai ar netiesiogiai prisidėjo prie šio darbo.

Joana Katina

Reziუმė

Prognozavimo modelių ir metodų tyrimai yra intensyviai vystomi. Įprastai sudėtingesni prognozavimo modeliai leidžia geriau prisitaikyti prie atskirų sukauptų istorinių duomenų, tačiau naujausios publikacijos apie persimokymą (angl. *overfitting*) iliustruoja, kad nepalankiomis sąlygomis ankstesnių ir dabartinių rezultatų koreliacija yra neigiama.

Šio darbo tikslas – taikant sukurtą akcijų biržos modelį ištirti tiek persimokymo įtaką, tiek pastebėtą silpną ir tam tikromis sąlygomis neigiamą portfelio pelnų priklausomybę nuo akcijų kainų prognozavimo tikslumo. Pastaroji problema priklauso dar mažai ištyrinėtai finansinio optimizavimo sričiai. Svarbiausia šio darbo išvada – faktas, kad minimalios prognozavimo paklaidos nebūtinai duoda maksimalų portfelio pelną. Ši išvada ir ją pagrindžiantys rezultatai turi įtakos investavimo optimizavimo moksliniams tyrimams. Ypatingas dėmesys turėtų būti skiriamas patikimų prekybos taisyklių, neįautresnių nenuspėjamiems rinkos pokyčiams, paieškai.

Ekspertinės sistemos, imituojančios akcijų biržos darbą, yra naudingas finansų rinkos tyrimo įrankis. Eksperimentuoti realioje akcijų biržoje nėra praktiška, nes dirbant realiu laiku negalima kartoti eksperimentų. Tad tyrimų rezultatams gauti naudotas sukurtos ekspertinės sistemos (virtualios akcijų biržos) tobulesnis variantas PORTFOLIO-2, realizuotas darbe programavimo sistemos Java priemone.

Abstract

Considerable scientific efforts are aimed at the research of prediction models and methods. More complex models provide a better fitting to historical data, as usual. However, the recent publications on overfitting show that, under some unfavorable conditions, the correlation between the past and present results is negative.

This work is to investigate both the influence of overfitting and the observed weak and, under some conditions, negative relation of portfolio profits as well as the prediction accuracy of asset prices applying the developed stock exchange model (Virtual Stock Exchange). The last problem is regarded as more important, since it is almost an open area so far, in the field of financial optimization. The new and most important conclusion of this work is that minimal prediction errors do not necessarily provide maximal portfolio profits. This conclusion and its underlying results have an impact on the research in the investment optimization. A particular attention should be paid to direct search of robust trading rules, less sensitive to unpredictable market changes.

The expert systems that simulate the stock exchange are a useful tool for financial market research. To perform direct real-life experimentation in the real stock market is not practical, since the past financial time series cannot be repeated while working in real-time. All the research results have been obtained with the help of the expert system (Virtual Stock Exchange), developed using the Java programming tools.

Paveikslų sąrašas

1 PAV. MAE IR MSE PRIKLAUSOMYBĖ NUO ARIMA PARAMETRŲ P IR Q.....	36
2 PAV. PROGRAMINĖS ĮRANGOS VEIKIMO SCHEMA	39
3 PAV. AŠTUONIŲ AKCIJŲ DIENINĖS KAINOS, REALI AKCIJŲ BIRŽA, I PERIODAS	44
4 PAV. PORTFELIO POKYČIAI REALIOJE AKCIJŲ BIRŽOJE, TAIKANT PT4 IR AR(1), I PERIODAS.....	45
5 PAV. PORTFELIO POKYČIAI REALIOJE AKCIJŲ BIRŽOJE, TAIKANT PT4 IR AR(9), I PERIODAS	45
6 PAV. AŠTUONIŲ SKIRTINGŲ AKCIJŲ NORMALIZUOTOS VIDUTINĖS KAINOS TAIKANT PT1, VIRTUALI AKCIJŲ BIRŽA.....	47
7 PAV. DEŠIMTIES PREKYBOS TAISYKLIŲ VIDUTINIAI PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS, I PERIODAS.....	48
8 PAV. DEŠIMTIES PREKYBOS TAISYKLIŲ VIDUTINIAI PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS, II PERIODAS.....	48
9 PAV. DEŠIMTIES PREKYBOS TAISYKLIŲ VIDUTINIAI PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS, III PERIODAS.....	49
10 PAV. KETURIŲ PREKYBOS TAISYKLIŲ VIDUTINIAI PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS, VIRTUALI AKCIJŲ BIRŽA	49
11 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT1, I PERIODAS.....	50
12 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT2, I PERIODAS.....	51
13 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT3, I PERIODAS.....	51
14 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT4, I PERIODAS.....	52
15 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT5, I PERIODAS.....	52
16 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT6, I PERIODAS.....	53
17 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT7, I PERIODAS.....	53
18 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT8, I PERIODAS.....	54
19 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT9, I PERIODAS.....	54
20 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT10, I PERIODAS.....	55
21 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT1, II PERIODAS.....	56
22 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT2, II PERIODAS.....	56

23 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT3, II PERIODAS.....	57
24 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT4, II PERIODAS.....	57
25 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT5, II PERIODAS.....	58
26 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT6, II PERIODAS.....	58
27 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT7, II PERIODAS.....	59
28 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT8, II PERIODAS.....	59
29 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT9, II PERIODAS.....	60
30 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT10, II PERIODAS.....	61
31 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT1, III PERIODAS.....	61
32 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT2, III PERIODAS.....	62
33 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT3, III PERIODAS.....	62
34 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT4, III PERIODAS.....	63
35 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT5, III PERIODAS.....	63
36 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT6, III PERIODAS.....	64
37 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT7, III PERIODAS.....	64
38 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT8, III PERIODAS.....	65
39 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT9, III PERIODAS.....	66
40 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT10, III PERIODAS.....	66
41 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT1, VIRTUALI AKCIJŲ BIRŽA	67
42 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT2, VIRTUALI AKCIJŲ BIRŽA	68
43 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT3, VIRTUALI AKCIJŲ BIRŽA	68
44 PAV. SKIRTINGŲ PROGNOZAVIMO MODELIŲ PELNAI IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDOS TAIKANT PT4, VIRTUALI AKCIJŲ BIRŽA	69
45 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT PT1, I PERIODAS	71
46 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT PT2, I PERIODAS	72
47 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT PT3, I PERIODAS	72
48 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT PT4, I PERIODAS	73
49 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT PT1, II PERIODAS	73
50 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT PT2, II PERIODAS	74
51 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT PT3, II PERIODAS	75
52 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT PT4, II PERIODAS	75
53 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT PT1, III PERIODAS	76

54 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT PT2, III PERIODAS	77
55 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT PT3, III PERIODAS	78
56 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT PT4, III PERIODAS	78
57 PAV. AKCIJŲ KAINŲ POKYČIŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGAS PREKYBOS TAISYKLES, I PERIODAS	85
58 PAV. AKCIJŲ KAINŲ POKYČIŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGAS PREKYBOS TAISYKLES, II PERIODAS	86
59 PAV. AKCIJŲ KAINŲ POKYČIŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGAS PREKYBOS TAISYKLES, III PERIODAS	87
60 PAV. PELNŲ IR KAINŲ POKYČIŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGAS PREKYBOS TAISYKLES, I PERIODAS	87
61 PAV. PELNŲ IR KAINŲ POKYČIŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGAS PREKYBOS TAISYKLES, II PERIODAS	88
62 PAV. PELNŲ IR KAINŲ POKYČIŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGAS PREKYBOS TAISYKLES, III PERIODAS	89
63 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGAS PREKYBOS TAISYKLES, I PERIODAS.....	89
64 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGAS PREKYBOS TAISYKLES, II PERIODAS.....	90
65 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGAS PREKYBOS TAISYKLES, III PERIODAS.....	91
66 PAV. KAINŲ POKYČIŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGAS PREKYBOS TAISYKLES, IV PERIODAS	92
67 PAV. PELNŲ IR KAINŲ POKYČIŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGAS PREKYBOS TAISYKLES, IV PERIODAS	93
68 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGAS PREKYBOS TAISYKLES, IV PERIODAS	93
69 PAV. KAINŲ POKYČIŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIOUS IR PT1, I PERIODAS.....	95
70 PAV. KAINŲ POKYČIŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIOUS IR PT1, II PERIODAS.....	95
71 PAV. KAINŲ POKYČIŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIOUS IR PT1, III PERIODAS.....	96
72 PAV. KAINŲ POKYČIŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIOUS IR PT1, IV PERIODAS.....	97
73 PAV. KAINŲ POKYČIŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIOUS IR PT3, I PERIODAS.....	98
74 PAV. KAINŲ POKYČIŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIOUS IR PT3, II PERIODAS.....	98
75 PAV. KAINŲ POKYČIŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIOUS IR PT3, III PERIODAS.....	99
76 PAV. KAINŲ POKYČIŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIOUS IR PT3, IV PERIODAS.....	99

77 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIUS IR PT3, I PERIODAS	100
78 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIUS IR PT3, II PERIODAS	101
79 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIUS IR PT3, III PERIODAS	101
80 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIUS IR PT3, IV PERIODAS	102
81 PAV. KAINŲ POKYČIŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIUS, I PERIODAS	103
82 PAV. KAINŲ POKYČIŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIUS, IV PERIODAS	104
83 PAV. PELNŲ IR KAINŲ POKYČIŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIUS, I PERIODAS	104
84 PAV. PELNŲ IR KAINŲ POKYČIŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIUS, IV PERIODAS	105
85 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIUS, I PERIODAS	106
86 PAV. PELNŲ IR PROGNOZAVIMO PAKLAIDŲ KORELIACIJOS TAIKANT SKIRTINGUS PROGNOZAVIMO MODELIUS, IV PERIODAS	106

Lentelių sąrašas

1 LENTELĖ SKIRTINGOMS KOMERCINĖMS VEIKLOMS ATSTOVAUJANČIŲ AKCIJŲ, KURIOS ĮTRAUKTOS Į TESTAVIMO RINKINĮ, SĄRAŠAS.....	35
2 LENTELĖ DEŠIMTIES PREKYBOS TAISYKLIŲ VIDUTINIAI PORTFELIAI, REALI AKCIJŲ BIRŽA.....	43
3 LENTELĖ KETURIŲ PREKYBOS TAISYKLIŲ VIDUTINIAI PORTFELIAI VIRTUALIOJE AKCIJŲ BIRŽOJE	46

Žymėjimai

Simboliai

a	Rinkos inercijos koeficientas
$b(t, i)$	Investuotojo i pasiskolintos lėšos laiko momentu t
$B(t) = B(t, i)$	Išlaidos (nuostoliai) laiko momentu t
$C(t, i)$	Investuotojo i investuojamos lėšos laiko momentu t
$D(t) = D(t, i)$	Pajamos laiko momentu t
l	Pelningumo lygis
$L(t, i)$	Investuotojo i kredito limitas laiko momentu t
$n = n(t)$	Akcijų skaičius laiko momentu t
$p(t, i)$	Numatomas pelningumas (santykinis pelnas) laiko momentu t
R	Turto grąža
S	Šarpo rodiklis
$S(t, i)$	Investuotojo i pirkimo ir pardavimo strategija laiko momentu t
$U(t) = U(t, i)$	Pelnas laiko momentu t
$v(i)$	Standartinis nuokrypis
$z(t) = z(t, i)$	Akcijos kaina laiko momentu t

$Z(t)$	Faktinė akcijos kaina laiko momentu t
$\alpha(t)$	Pajamos laiko momentu t
$\beta(t, i)$	Santykinis akcijos kainų pokytis laiko momentu t , prognozuojamas investuotojo i
$\gamma(t)$	Palūkanų norma laiko momentu t
$\delta(t)$	Dividendai laiko momentu t
$\varepsilon(t)$	Triukšmas laiko momentu t
$\tau(t, n)$	Santykinė transakcijos kaina laiko momentu t

Santrumpos

AAPL	Apple akcijos
ANN	Dirbtinis neuroninis tinklas (angl. <i>Artificial Neural Network</i>)
AR	Auto-regresinis modelis (angl. <i>Auto-regressive model</i>)
AR-ABS	Auto-regresinis modelis, minimizuojantis absoliutines paklaidas (angl. <i>Auto-regressive Absolute model</i>)
ARCH	Auto-regresinis sąlyginio heteroskediškumo modelis (angl. <i>Auto-regressive Conditional Heteroskedasticity model</i>)
ARFIMA	Auto-regresinis trupmeniškai integruoto slenkančio vidurkio modelis (angl. <i>Auto-regressive Fractionally Integrated Moving Average model</i>)
ARIMA	Auto-regresinis integruoto slenkančio vidurkio modelis (angl. <i>Auto-regressive Integrated Moving Average model</i>)
ARMA	Auto-regresinis slenkančio vidurkio modelis (angl. <i>Auto-regressive Moving Average model</i>)
BA	Boeing akcijos
BAC	Bank of America akcijos
GOOG	Google akcijos
MAE	Vidutinė absoliutinė paklaida (angl. <i>Mean Absolute Error</i>)
MPT	Moderni portfelio teorija (angl. <i>Modern Portfolio Theory</i>)

MSFT	Microsoft akcijos
NOK	Nokia akcijos
ORCL	Oracle akcijos
PT	Prekybos taisyklė
RW	Atsitiktinis klaidžiojimas (angl. <i>Random Walk</i>)
S&P 500	Indeksas, į kurį įtraukta 500 pirmaujančių svarbiausių JAV įmonių akcijų (angl. <i>Standard & Poor's 500</i>)
SE	Standartinė paklaida (angl. <i>Standard Error</i>)
TIOBE	Programuotojų bendruomenės TIOBE (angl. <i>The Importance Of Being Earnest</i>) indeksas
TM	Toyota Motor akcijos

Turinys

1. ĮVADAS	1
1.1. Tyrimų sritis ir problemos aktualumas	1
1.2. Tyrimo objektas	4
1.3. Darbo tikslas ir uždaviniai	4
1.4. Tyrimo metodai.....	5
1.5. Darbo mokslinis naujumas.....	5
1.6. Darbo rezultatų praktinė reikšmė.....	5
1.7. Ginamieji teiginiai	6
1.8. Darbo rezultatų aprobavimas	6
1.9. Disertacijos struktūra	7
2. TYRIMŲ APŽVALGA	8
2.1. Ankstesni darbai ir akcijų biržos modelis.....	8
2.2. Optimalaus finansinio investavimo (portfelio) uždavinys.....	9
2.3. Akcijų biržos modelio funkcijos.....	13
2.4. Antrojo skyriaus išvados.....	15
3. PORTFOLIO MODELIS	16
3.1. Prekybos strategijos, vienos akcijos birža.....	16

3.1.1. Gauso modelis smulkiems akcininkams	19
3.1.2. Rinkos inercija.....	20
3.1.3. Pirkimo ir pardavimo kaina.....	20
3.1.4. Investuotojų pelnas.....	21
3.1.5. Banko pelnas	23
3.1.6. Daugelio lygmenų operacijos.....	23
3.2. Prekybos strategijos, daugelio akcijų operacijos, portfelio problema	25
3.2.1. Prekybos taisyklė Nr.1 Riziką suvokiantys akcininkai: pirkti pelningiausią akciją – parduoti visas nuostolingas pagal tris pelningumo (nuostolingumo) lygmenius	26
3.2.2. Prekybos taisyklė Nr. 2 Riziką suvokiantys akcininkai: pirkti pelningiausią akciją – parduoti visas nuostolingas.....	29
3.2.3. Prekybos taisyklė Nr. 3 Rizikai neutralūs akcininkai: pirkti pelningiausią akciją – parduoti visas kitas	30
3.2.4. Prekybos taisyklė Nr. 4 Rizikos vengiantys akcininkai: pardavimas ir pirkimas proporcingi pelningumui	30
3.3. Ilgalaikis investavimas.....	31
3.3.1. Prekybos taisyklė Nr. 5 Rizikos apibrėžimas pagal bankroto tikimybes ir individualią naudingumo funkciją.....	31
3.3.2. Prekybos taisyklė Nr. 6 Šarpo rodiklio maksimizavimas – Moderni portfelio teorija (MPT).....	32
3.3.3. Trumpalaikių taisyklių pritaikymas ilgalaikiam investavimui.....	33
3.4. Prognozavimo modeliai	34
3.4.1. AR(p) modelis	34
3.4.2. ARIMA modelio skirtingų nustatymų palyginimas.....	35
3.5. PORTFOLIO modelio programinė realizacija.....	37
3.6. Trečiojo skyriaus išvados.....	40
4. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI.....	41
4.1. Realių akcijų tyrimas	42
4.2. Virtualių akcijų tyrimas	45

4.3. Realių ir virtualių akcijų tyrimas – vidutiniai rezultatai	47
4.4. Realių akcijų tyrimas – detalus palyginimas.....	50
4.5. Virtualių akcijų tyrimas – detalus palyginimas.....	66
4.6. Portfelio pelnų ir akcijų kainų prognozavimo paklaidų koreliacijos atskirai skirtingoms akcijoms	70
4.7. Portfelio pelnų, akcijų kainų prognozavimo paklaidų ir akcijų kainų pokyčių vidutinės koreliacijos	79
4.7.1. Pelnų ir akcijų kainų prognozavimo paklaidų silpnų ir kartais teigiamų koreliacijų paaiškinimas	80
4.7.2. Pirmųjų trijų periodų koreliacijos ir eksperimentiniai rezultatai.....	84
4.7.3. Ketvirtojo periodo koreliacijos ir eksperimentiniai rezultatai.....	91
4.7.4. Skirtingų prognozavimo modelių koreliacijos ir eksperimentiniai rezultatai	94
4.7.5. Paprasčiausių prekybos taisyklių koreliacijos ir eksperimentiniai rezultatai	102
4.8. Ketvirtojo skyriaus išvados.....	106
5. BENDROSIOS IŠVADOS.....	108
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI	110
AUTORIAUS PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS DISERTACIJOS TEMA	114
PRIEDAI.....	116
Priedas A. PORTFOLIO modelio vartotojo instrukcija	116

1.1. Tyrimų sritis ir problemos aktualumas

Atlikta daug mokslinių tyrimų su įvairiais prognozavimo modeliais ir metodais: $AR(p)$ – autoregresinis, $ARMA(p,q)$ – autoregresinis slenkančio vidurkio, $ARIMA(p,d,q)$ – autoregresinis integruoto slenkančio vidurkio, $ARFIMA(p,d,q)$ – autoregresinis trupmeniškai integruoto slenkančio vidurkio (Box & Jenkins, 1976), $ARCH(q)$ – autoregresinis sąlyginio heteroskedastiškumo (Engle & Kroner, 1995), ANN – dirbtinio neuroninio tinklo (Khashei & Bijari, 2010) ir kt. Sudėtingesni prognozavimo modeliai įprastai geriau prisitaiko prie istorinių duomenų (duoda mažesnes paklaidas ankstesnių duomenų atžvilgiu). Vis dėlto ekonomikos sąlygos keičiasi, tad kyla klausimas, kaip šie modeliai prognozuos būsimus finansinius duomenis.

Dažnai manoma, kad geras ankstesnių duomenų pritaikymas finansiniams modeliams, nors ir negarantuoja tikslios būsimų duomenų prognozės, tačiau leidžia tikėtis bent jau teigiamos koreliacijos. Kad ir kaip būtų, naujausi

duomenys rodo (Bailey, et al., 2014), kad net esant palankioms sąlygoms tik po labai ilgų laiko eilučių gaunama teigiama koreliacija. Laiko reikia dar daugiau, kai taikomi sudėtingesni modeliai. Šis poveikis aprašomas aprašomas bendru terminu „persimokymas“, perimtu iš ANN srities.

Kainų prognozavimo metodai yra pagrįsti prielaida, kad dėl tikslesnių kainų prognozių galima gauti didesnę pelną. Matematiškai tai reiškia, kad pelnas yra didėjanti akcijų kainų prognozavimo tikslumo funkcija. Tačiau ši prielaida nebūtinai yra teisinga, ypač sprendžiant daug akcijų apimančių portfelio optimizavimo uždavinį, kai esant įvairioms sąlygoms naudojamos sudėtingos investavimo strategijos. Investavimo strategija apibrėžiama kaip prekybos taisyklės (pirkimo ir pardavimo sąlygos) ir prognozavimo modelio pora. Tam tikromis sąlygomis portfelio pelnų ir prognozuojamų kainų paklaidų koreliacija gali būti teigiama. Tokia koreliacija reiškia, kad portfelio pelnų priklausomybė nuo prognozuojamų akcijų kainų tikslumo yra neigiama.

Šis teiginys yra iliustruojamas keliais eksperimentais. Tai natūralus tokių prognozavimo modelių, kuriuose didesni skirtumai tarp dabartinių ir būsimų akcijų kainų duoda didesnius prognozuojamų kainų nuokrypius, rezultatas. Šiuo būdu galima gauti tiek teigiamą, tiek neigiamą koreliaciją tarp kainų pokyčių ir prognozuojamų kainų paklaidų. Pavyzdžiui, jeigu vyrauja teigiami pokyčiai, gaunama teigiama koreliacija tarp portfelio pelnų ir prognozuojamų kainų paklaidų. Išsamiau šis reiškinys aiškinamas 4.6. ir 4.7. skyriuose.

Kitas šio nenuspėjamo reiškinio paaiškinimas gali būti tas, kad daugelio akcijų atveju pelnas yra apibrėžiamas visam portfeliui, ne individualioms akcijoms, o prognozavimo paklaida yra skaičiuojama atskirai kiekvienai akcijai. Pelnas priklauso nuo dviejų veiksnių: prognozavimo modelio ir prekybos taisyklės. Šiame darbe aprašyti eksperimentai parodė, kad prekybos taisyklė yra svarbesnis veiksnys.

Tiriant optimalią pelno ir prognozavimo tikslumo priklausomybę

susiduriama su dar vienu sunkumu – pelno optimizavimas atliktinas atsižvelgiant į investavimo strategijas. Todėl maksimizuojama funkcija, kuri didėja priklausomai nuo skirtumo tarp esamų ir buvusių kainų didėjimo ir nuo individualių investuotojų sąlygas išreiškiančių apribojimų. Įprasti prognozavimo modeliai neretai minimizuoja prognozuojamų kainų kvadratinis ar absoliutinius nuokrypius nuo esamų kainų. Taikomi skirtingi optimizavimo kriterijai, todėl minimali prognozavimo paklaida nebūtinai reiškia maksimalų pelną.

Mokslinių darbų, aprašančių ir teoriškai paaiškinančių šį akivaizdžiai naują rezultatą, nebuvo rasta, todėl priklausomybę tarp portfelio pelno ir prognozavimo paklaidos apibrėžiančių funkcijų tyrimas yra svarbus tolesniems teoriniams ir eksperimentiniams tyrimams. Pagrindinis tikslas – apibrėžti tas sąlygas, kuriose portfelio pelnas yra monotoninė prognozavimo tikslumo funkcija. Šis darbas atliktas siekiant ištirti tiek persimokymo įtaką, tiek pelną ir prognozavimo paklaidų priklausomybę. Pastaroji problema yra daug svarbesnė, nes ji vis dar yra nenuodugnai išnagrinėta finansinio optimizavimo sritis.

Siekiant sumažinti aplinkos ir laikinų veiksnių įtaką reikalingas akcijų biržos modelis, kuris imituotų pagrindinių investuotojų sąveiką, kai naudojamos skirtingos investavimo strategijos ir siekiama maksimaliai padidinti pelną. Kad sumažėtų didelis smulkių investuotojų skaičius, jis pateikiamas kaip Gauso triukšmas. Norint objektyviai stebėti persimokymą tiriami keturi skirtingų ekonomikos sąlygų periodai. Įvertinti pelno ir prognozavimo paklaidos priklausomybei apskaičiuotos koreliacijos taikant tiek realius, tiek virtualius duomenis. Paminėtina, kad šiame darbe koreliacijos apskaičiuotos tarp pelno ir prognozavimo paklaidos, o ne prognozavimo tikslumo, todėl teigiama koreliacija reiškia neigiamą pelno priklausomybę nuo prognozavimo tikslumo.

Geriausios strategijos skiriasi skirtingais laiko periodais ir realiomis bei virtualiomis rinkomis. Paprastesniais prognozavimo modeliais įprastai gaunamos mažesnės prognozavimo paklaidos. Tai atrodo normalu persimokymo kontekste (Bailey, et al., 2014) ir atitinka efektyvios rinkos hipotezę (Fama, 1995).

Naujas ir svarbiausias šio darbo rezultatas yra faktas, kad minimalios prognozavimo paklaidos nebūtinai duoda maksimalų pelną. Teigiama pelno ir prognozavimo paklaidos koreliacija tam tikromis sąlygomis gauta tiek realioje, tiek virtualioje rinkoje. Svarbi tyrimo dalis priklauso nuo virtualios akcijų biržos, nes šis modelis atspindi tik tam tikras pagrindines lošimo taisykles, kurios gali būti kontroliuojamos mokslininkų ir nepriklauso nuo kintančios aplinkos.

1.2. Tyrimo objektas

Tyrimo objektas yra imitacinis akcijų biržos modelis (virtuali akcijų birža) ir jo taikymas statistinei priklausomybei tarp prognozavimo paklaidos ir faktinio pelno nustatyti, kai taikomos įvairios akcijų prekybos taisyklės ir prognozavimo modeliai realiose ir virtualiose finansų rinkose.

1.3. Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – patobulinti sukurtą modelį, imituojantį akcijų biržos darbo procesą ir pritaikyti jį prognozavimo uždavinių tyrimams. Taip pat siekiama taikant šį modelį iširti priklausomybę tarp pelno ir akcijų kainų prognozavimo tikslumo, tarp realių duomenų ir teorinių modelių.

1.4. Tyrimo metodai

Analizuojant mokslinius ir eksperimentinius pasiekimus sprendžiant optimalaus finansinio investavimo (portfelio) uždavinį, įskaitant prognozavimo ir rinkos modelių pasiekimus, naudoti informacijos paieškos, sisteminimo, analizės, lyginamosios analizės ir apibendrinimo metodai. Tiriant priklausomybę tarp portfelio pelnų ir prognozavimo paklaidų naudotas akcijų biržos modelis. Kitos dienos kaina nustatoma taikant autoregresinius prognozavimo metodus. Remiantis eksperimentinio tyrimo metodu, atlikta statistinė duomenų ir tyrimų rezultatų analizė, o jos rezultatams apibendrinti taikytas lyginamosios analizės metodas.

1.5. Darbo mokslinis naujumas

Pagrindinis darbo naujumas yra akcijų biržos modelio (virtualios akcijų biržos) pritaikymas prognozavimo uždavinių tyrimams. Taip pat paaiškintas naujas empirinis faktas, kad portfelio pelno ir prognozavimo tikslumo koreliacija yra statistiškai nereikšminga ir gali būti neigiama. Tai reiškia, kad vien tik prognozavimo tikslumas neužtikrina didesnio pelno ir tam tikromis sąlygomis investuotojai, taikantys ne tokius tikslus prognozavimo metodus, gali tikėtis didesnio pelno.

1.6. Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Išvada, kad vien tik prognozavimo tikslumas neužtikrina didesnio pelno, turi įtakos investavimo optimizavimo tyrimui. Ypatingas dėmesys turėtų būti skiriamas patikimų prekybos taisyklių, neįautresnių nenuspėjamiems rinkos pokyčiams, paieškai. Tobulesnis virtualios akcijų biržos variantas PORTFOLIO-2 gali būti taikomas ir kitiems akcijų biržos tyrinėjimams.

1.7. Ginamieji teiginiai

Taikant objektyviai egzistuojančias akcijų portfelio formavimo taisykles, koreliacija tarp prognozavimo tikslumo ir faktinio pelno yra silpna ir daugeliu atvejų neigiama tiek realioje, tiek virtualioje finansų rinkose. Tai rodo, kad faktinis pelnas taikant realias prekybos taisykles nebūtinai yra monotonišė statistinė prognozavimo paklaidos funkcija.

1.8. Darbo rezultatų aprobavimas

Tyrimų rezultatai publikuoti 5 moksliniuose leidiniuose: 2 recenzuojamuose periodiniuose mokslo leidiniuose, 2 recenzuojamuose kituose mokslo leidiniuose, 1 recenzuojamame konferencijos darbų leidinyje. Tyrimų rezultatai pristatyti ir aptarti 8 nacionalinėse ir tarptautinėse konferencijose Lietuvoje.

Tarptautinės konferencijos

1. Special Workshop of Stochastic Programming Community “Stochastic Programming for Implementation and Advanced Applications” (STOPROG-2012), July 3–6, 2012, Neringa, Lithuania.
2. The 25th European Conference on Operational Research (EURO-2012), July 8–11, 2012, Vilnius, Lithuania.

Nacionalinės konferencijos

1. 1-oji jaunųjų mokslininkų konferencija „Fizinių ir technologijos mokslų tarpdalykiniai tyrimai“, Vilnius: LMA, 2011 m. vasario 8 d.
2. 3-iasis tarptautinis seminaras „Duomenų analizės metodai programų sistemoms“, Druskininkai: VU MII, 2011 m. gruodžio 1–3 d.

3. 2-oji jaunųjų mokslininkų konferencija „Fizinių ir technologijos mokslų tarpdalykiniai tyrimai“, Vilnius: LMA, 2012 m. vasario 14 d.
4. Lietuvos matematikų draugijos 53-oji konferencija, Klaipėda: KU, 2012 m. birželio 11–12 d.
5. 3-oji jaunųjų mokslininkų konferencija „Fizinių ir technologijos mokslų tarpdalykiniai tyrimai“, Vilnius: LMA, 2013 m. vasario 12 d.
6. 16-oji mokslinė kompiuterininkų konferencija „Kompiuterininkų dienos 2013“, Šiauliai: ŠU, 2013 m. rugsėjo 19–21 d.

1.9. Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro 5 skyriai, bibliografijos sąrašas ir priedas. Disertacijos skyriai: Įvadas, Tyrimų apžvalga, PORTFOLIO modelis, Eksperimentiniai tyrimai, Bendrosios išvados. Be to, disertacijoje pateikti lentelių, paveikslų, naudotų žymėjimų ir santrumpų sąrašai. Disertacijos apimtis – 115 puslapių (be priedų), kuriuose pateikti 86 paveikslai, 58 formulės ir 3 lentelės. Disertacijoje remtasi 60 bibliografinių šaltinių.

Tyrimų apžvalga

2.1. Ankstesni darbai ir akcijų biržos modelis

Paprastasis Akcijų biržos lošimo modelis (angl. *Stock Exchange Game Model*) pirmą kartą pristatytas (Mockus, 2003). Šiame modelyje imituotas kelių akcininkų elgesys naudojant nekintančias pirkimo ir pardavimo atsargas ir nekintantį banko pelningumą. Paskui modelis iširtas ir palygintas su realiais duomenimis (Mockus, 2010; Mockus & Raudys, 2010; Mockus, 2012). Straipsniuose (Mockus, 2010; Mockus, 2012) kaip strategiją pasiūlyta taikyti Nešo pusiausvyrą (angl. *Nash equilibrium*), ši dinamiškai apibrėžtų pirkimo ir pardavimo atsargas ir banko „apkarpymus“ (angl. *haircuts*). Taip ji leidžia imituoti rinkos nelikvidumą, svarbų dabartinės finansų krizės bruožą (Allen, 2008).

Pirmoji PORTFOLIO modelio versija pristatyta straipsnyje (Mockus, et al., 2014). Modelyje įtrauktos transakcijų kainos geriau atspindi realybę. Atsižvelgiant į vartotojus, kurie taiko tiesinio naudingumo funkcijas, kartu su

įprastu $AR(p)$ modeliu, minimizuojančiu mažiausius kvadratinus nuokrypius, įtrauktas ir $AR-ABS(p)$ autoregresinis modelis, minimizuojantis absoliučias paklaidas. Šiame darbe aprašytas ir išnagrinėtas naujas PORTFOLIO modelis persimokymo ir pelno ir prognozavimo paklaidos koreliacijos kontekste.

PORTFOLIO tikslas yra ne prognozavimas, o finansinių laiko eilučių, kurios yra paveiktos dalyvių prognozių, modeliavimas. Virtuali akcijų birža gali padėti palyginti prielaidą apie racionalaus investuotojo elgesį ir pastarąsias teorijas, kurios aiškina finansų rinką kaip neracionalų pagrindinių rinkos dalyvių elgesį (Krugman, 2000; Krugman, 2008; Krugman, 2009). Modelis palygintas su realiomis finansinėmis laiko eilutėmis ir pastebėta tiek panašumų, tiek skirtumų.

Modelis sukurtas kaip priemonė pavaizduoti individualaus investuotojo, norinčio prognozuoti, kokio tikimasi pelno priklausomai nuo skirtingus prognozavimo metodus realioms ir virtualioms akcijoms taikančių prekybos taisyklių, elgesiui. Daroma prielaida, kad tokiu atveju vienintelė prieinama informacija yra ankstesni akcijų kursai ir prognozuojamos tik vidutinės akcijų reikšmės.

Modelio paskirtis – ištirti priklausomybę tarp realių duomenų ir teorinių modelių, tarp pelno ir prognozavimo paklaidų ir išnagrinėti, kokių kitų rezultatų galima gauti, kai taikomas šis paprastas modelis.

2.2. Optimalaus finansinio investavimo (portfelio) uždavinys

Optimalaus finansinio investavimo (portfelio) uždavinys, įskaitant prognozavimą ir rinkos modelius, buvo tiriamas pirmaujančių finansinių organizacijų ir šimtų mokslininkų. Ši problema taip pat aktuali smulkiesiems investuotojams, norintiems investuoti savo kapitalą, taupyti arba jį kaupti. Šiuo

metu išskirtinys dėmesys skiriamas finansų rinkos analizei, o to įrodymas – suteiktos Nobelio premijos šioje srityje ir paskelbta nemažai įvairių publikacijų šia tema, tik pačios reikšmingiausios iš jų paminėtos šiame darbe (Bernanke, 2004; Greenspan, 2009; Krugman, 2012; Krugman, 1996; Krugman, 2009; Krugman, 2008; Sharpe, 2000; Sharpe, 1964; Sharpe, 1963; Scholes, 1998) (Fama, 1970; Ait-Sahalia & Hansen, 2009; Hansen & Sargent, 2007; Hansen & Scheinkman, 2012; Hansen, 2013; Hansen & Scheinkman, 2012; Hansen, 2012; Anderson, et al., 2012; Hansen, 2012; Arellano, et al., 2012) (Hansen & Sargent, 2011; Borovička, et al., 2011; Akerlof & Shiller, 2009; Shiller, 2008; Shiller, 2009; Shiller, 1998; Shiller, 1989; Shiller, 2007; Merton, 1971; Markowitz, 1959) (Markowitz, 1952; Sharpe, 1994; Sharpe, 1966; Merton, 1972; Black & Scholes, 1973; Nash, 1951; Bagočius, et al., 2014; Dadelo, et al., 2014). Cituojami tie autoriai, kurie buvo apdovanoti Nobelio ekonomikos premijomis už sprendžiamas finansų rinkos teorijos problemas. Daugumos šių darbų tikslas yra prognozavimas, portfelio optimizavimas, rizikos mažinimas ir kapitalo paskirstymas. Rinkos prognozavimas ir portfelio optimizavimas finansų rinkos tyrimuose dažnai buvo aprašomi kartu. Tačiau prognozavimas ir investavimo problemos daugumoje šių tyrimų buvo atliekami atskirai.

Taip pat įtraukiami tam tikri darbai, susiję su šio darbo rezultatais. Pavyzdžiui, (Bagočius, et al., 2014; Dadelo, et al., 2014) pristato daugiakriterinio optimizavimo pavyzdžius, kurie taikomi šiame darbe. Darbe laikomasi pozicijos, kad visi investuotojai taiko tą patį kriterijų – tikėtiną pelną.

Svarbi finansų rinkos analizės dalis yra rinkos dalyvių elgesys. Yra įvairių prielaidų šiuo aspektu: kai kurie mokslininkai teigia, kad jis yra racionalus, kiti – kad neracionalus. Rinkos dalyvių elgesys labai svarbus, nes gali paaiškinti daugelį finansų rinkos procesų. Šių darbų (Merton, 1971; Markowitz, 1959; Markowitz, 1952; Sharpe, 1994; Sharpe, 1966; Merton, 1972; Black &

Scholes, 1973; Nash, 1951; Sharpe, 2000; Sharpe, 1964) (Sharpe, 1963; Scholes, 1998; Fama, 1970) tikslas buvo suteikti teorijos, rekomendacijų ir įrankių turtui diversifikuoti, priklausomai nuo priimtino rizikos lygmens, darant prielaidą, kad dalyviai elgiasi racionaliai. Kituose darbuose (Krugman, 2012; Krugman, 1996; Krugman, 2009; Krugman, 2008; Hansen, 2013; Hansen & Scheinkman, 2012; Hansen, 2012; Anderson, et al., 2012; Hansen, 2012; Arellano, et al., 2012) (Hansen & Scheinkman, 2012; Hansen & Sargent, 2011; Borovička, et al., 2011; Akerlof & Shiller, 2009; Shiller, 2008; Shiller, 2009; Shiller, 1998; Shiller, 1989; Shiller, 2007; Merton, 1971) neracionalus elgesys laikomas svarbiu veiksniu finansų rinkoje. (Ait-Sahalia & Hansen, 2009; Hansen & Sargent, 2007; Hansen & Scheinkman, 2012) straipsniuose pristatyta keletas sukurtų patikimų statistinių metodų ekonomikos duomenis analizuoti ir prognozuoti.

Pastarųjų Nobelio premijos laureatų (Fama, 1970; Hansen, 2013; Hansen & Scheinkman, 2012) indėlis gali būti apibendrintas taip: Eugene Fama ir keli bendramoksliai parodė, kad akcijų kainas labai sunku prognozuoti trumpam laiko tarpui ir kad nauja informacija labai greitai atsispindi kainoje. Ši išvada pakeitė rinkos praktiką. Robertas Shilleris dar 1980 metais išvelgė, kad akcijų kainos svyruoja daug labiau nei įmonių dividendai ir kad akcijų kainų ir dividendų santykis linkęs kristi, kai yra didelis, ir linkęs kilti, kai yra mažas. O Larsas Peteris Hansenas sukūrė statistinį metodą, kuris ypač tinka tikrinti turto kainų racionalias teorijas. Laureatai yra padėję pagrindą esamam turto kainų supratimui. Turto kaina, viena vertus, priklauso nuo rizikos svyravimų ir požiūrio į riziką, o kita vertus, nuo elgesio nukrypimų ir trinties rinkoje.

Optimalaus investavimo problema aptarta daugelyje gerai žinomų leidinių. Pastaruoju metu ši problema buvo stebima praktiškai, kai didžiausi investuotojai kartu su milijonu mažų akcininkų be finansinio išsilavinimo ir patirties nusprendė, kaip geriau panaudoti savo santaupas.

Įprastą investavimo teorijos būdą pateikia Moderni portfelio teorija (ang. *Modern Portfolio Theory*, MTP). MTP autoriai Harry Markowitzas (Markowitz, 1959; Markowitz, 1952; Merton, 1972) ir Williamas F. Sharpe (Sharpe, 1966) apdovanoti Nobelio premija už tai, kad sukūrė metodus, išreiškiančius investavimo riziką (Šarpo rodiklis). Šios teorijos kūrimas ir alternatyvių metodų tyrimas aprašyti svarbiausiose finansinėse publikacijose ir aptarti tarptautinėse konferencijose.

Kai kuriuose investiciniuose fonduose sprendimai priimami programine įranga, paremta teoriniais Roberto Mertonio ir Myrono Scholeso rezultatais. Kai kurie šios teorijos trūkumai pastebėti dabartinės finansų krizės metu, kai investuotojai patyrė didelių nuostolių.

Veiksmingas būdas tirti finansų rinką yra sukurti jos modelį. Esti daug įvairių modelių tipų, jie imituoja finansų (akcijų) rinką ar jos dalį: akcijų biržos lošimai, finansų rinkos simulatoriai, prognozavimo modeliai, rinkos procesų analizės įrankiai ir kt.

Finansų rinkos simulatoriai yra sukurti, kad patenkintų mažų pavienių investuotojų poreikius. Keli pvz.: StockTrak Global Portfolio ir MarketWatch – virtuali akcijų birža. Kai kurie bankai siūlo savo investicinius simulatorius, pavyzdžiui, Barclays Fantasy Investment Game. Šių simulatorių vartotojai, dirbantys su „virtualiomis akcijomis“, yra informuojami apie rezultatus. Šie modeliai pateikia draugiškas vartotojui grafines sąsajas, tačiau teorinis pagrindas ir programiniai algoritmai nežinomi. Taigi vartotojai negali žinoti, kodėl laimi arba patiria nuostolius.

Finansų rinkos modeliai aprašyti darant prielaidą, kad individualių finansinių agentų sąveika yra atsitiktinė. Pavyzdžiui, (Darley & Outkin, 2007) pateikta dirbtinė akcijų rinka yra skirta agentams mokytis.

2.3. Akcijų biržos modelio funkcijos

Numatytasis PORTFOLIO finansų rinkos modelis apima tam tikrą kiekį akcijų ir akcininkų. Akcijų biržos modelis naudodamas istorines laiko eilutes arba generuodamas virtualias laiko eilutes imituoja įvairių investuotojų, kuriems taiko individualias investavimo strategijas, sąveiką. Pagrindinėje versijoje pateikiamos skirtingos investavimo strategijos, iš jų ir paremtos MPT. Individualus akcininkų požiūris į pelno naudingumą ir riziką įvertinamas taikant naudingumo teoriją ir keletą euristicinių procedūrų, sukurtų kartu su realiais akcininkais. Be to, šios priemonės yra numatytos tam, kad patys vartotojai galėtų kurti daugiau investavimo strategijų.

Tarp imituojamų investavimo procedūrų yra ir autoregresiniai prognozavimo modeliai – ne tik įprastas mažiausių kvadratų paklaidos minimizavimo modelis, bet ir vidutinės absoliutinės paklaidos minimizavimo modelis. Virtualios finansų rinkos rezultatai yra palyginti su įvairių realių akcijų istoriniais duomenimis.

PORTFOLIO modelio tikslas – iširti priklausomybę tarp realių ir virtualių duomenų, tarp pelno ir prognozavimo paklaidų. Interaktyvus pirkimo ir pardavimo lygmenų režimas leidžia manipuliuoti virtualia finansų rinka. Šio tyrimo mokslinis tikslas – nustatyti, kurios akcijų biržos svarbios ypatybės gali būti aprašytos kaip investuotojų lošimas ir racionalių strategijų naudojimas.

Virtualioje akcijų biržoje akcijų kainos visų pirma yra kelių pagrindinių akcininkų biržos lošimo rezultatas, o nuokrypiai tėra atsitiktiniai ir atspindi smulkių investuotojų veiklą. Investiciniai sprendimai priklauso nuo to, kaip akcininkai prognozuoja būsimas akcijų kainas ir numatomus dividendus.

PORTFOLIO modelyje daroma prielaida, kad kiekvienas lošėjas prognozuoja akcijų kainas pagal autoregresinius $AR(p)$ ar $AR-ABS(p)$ modelius su skirtingomis p reikšmėmis. $AR(p)$ modelio parametrai

apskaičiuojami taikant standartinį mažiausiųjų kvadratų algoritmą. AR-ABS(p) modelio, išreiškiančio tiesinę naudingumo funkciją, parametrai apskaičiuojami tiesiniu programavimu.

Realūs akcininkai naudoja savo pasirinktus prognozavimo būdus. Tačiau AR(p) ir AR-ABS(p) modelius galima naudoti prognozavimo procesų paprasčiausioms pradinėms aproksimacijoms nustatyti. Modeliavimas taikant AR(p) modelius su skirtingomis p reikšmėmis rodo, kad prognozavimo paklaidos stipriai nenukrypsta nuo paprasčiausių, pagrindines efektyvios rinkos teorijos prielaidas pagrindžiančių modelių su $p = 1$ reikšme. O PORTFOLIO modelio imituojamas pelnas kur kas labiau priklauso nuo p reikšmės.

Šis darbas imituoja ne tik įprastus naudingumo ir portfelio teorijų rezultatus, bet taip pat įvairias investavimo procedūras ir suteikia vartotojams galimybę kurti ir įgyvendinti savo pasirinktas investavimo strategijas. Tai svarbu individualiems vartotojams, turintiems skirtingų požiūrių į riziką.

Modelis gali būti naudingas finansų studijoms, moksliniam bendradarbiavimui ir akcininkams, nagrinėjantiems optimalaus investavimo problemas ir turintiems individualų požiūrį į riziką. Šiuo atveju itin naudinga įvesti naujų elementų, tokių kaip individualios naudingumo funkcijos, apibrėžiančios asmeninį portfelį.

Rizikos vertinimas pagal individualias naudingumo funkcijas iš esmės skiriasi nuo įprasto vertinimo pagal dispersiją. Priežastis yra ta, kad individualūs investuotojai yra linkę rizikuoti turėdami mažas sumas ir nelinę rizikuoti investuoti didelių sumų. Pastaraisiais atvejais turėtų būti sprendžiamas globalaus optimizavimo uždavinys. Tai nėra MPT sritis. Šiame darbe šiam uždaviniui atlikti taikomos specialios globalaus optimizavimo procedūros. Be to, sukurti algoritmai ir programinė įranga individualioms naudingumo funkcijoms išmėginti (Mockus, 2014). Šios naujos priemonės

skirtos padėti individualiems investuotojams pasirinkti savo individualias investavimo strategijas.

Taigi modelio ypatumai yra šie:

1. Investavimo strategijų, o ne portfelio optimizacija.
2. Viename modelyje realizuota tiek realių, tiek virtualių akcijų birža.
3. Galimybė analizuoti 190 skirtingų investavimo strategijų rezultatus (kainų prognozavimo paklaidos ir pelnai), kai taikoma 10 prekybos taisyklių ir 19 prognozavimo modelių ir kai naudojami realūs ir virtualūs duomenys.
4. Galimybė optimizuoti investicijas ir įvertinti riziką pagal individualias naudingumo funkcijas.

2.4. Antrojo skyriaus išvados

1. Akcijų biržos modelis gali būti naudingas akcininkams, nagrinėjantiems optimalaus investavimo problemas ir turintiems individualų požiūrį į riziką. Šiuo atveju itin naudinga įvesti naujų elementų, tokių kaip individualios naudingumo funkcijos, apibrėžiančios asmeninį portfelį.
2. Individualūs investuotojai yra linkę rizikuoti turėdami mažas sumas ir nelinkę rizikuoti investuoti didelių sumų. Pastaraisiais atvejais turi būti sprendžiamas globalaus optimizavimo uždavinys.

3

PORTFOLIO modelis

3.1. Prekybos strategijos, vienos akcijos birža

Silpna ir dažnai neigiama portfelio pelno priklausomybė nuo akcijų kainų prognozavimo tikslumo pirmą kartą paminėta straipsnyje (Mockus, et al., 2014) ir patvirtinta naujais eksperimentais šiame darbe. Norint paaiškinti šį netikėtą rezultatą reikia detalesnio akcijų biržos modelio aprašymo. Modelis yra bendro darbo rezultatas. Disertacijoje (Katin, 2014) nustatytas ryšys tarp virtualios ir realios akcijų biržos. O šio darbo tikslas – taikant akcijų biržos modelį nustatyti portfelio pelno priklausomybę nuo akcijų kainų prognozavimo tikslumo.

Gautiems naujiems rezultatams paaiškinti reikia aprašyti darbe naudotą akcijų biržos modelį, todėl toliau pateiktas sutrumpintas pagrindinių modelio dalių aprašymas, įskaitant kai kuriuos patobulinimus ir papildomas detales. Modelio programinis realizavimas yra pateiktas 3.5. skyriuje. Modelis gali būti

paleistas bet kuriame kompiuteryje, palaikančiame Java kalbą. Kaip paleisti modelį plačiau paaiškinta priede A.

Vienos akcijos prekyba vyksta tarp paprasčiausias taisykles taikančių pagrindinių investuotojų ir naudojami tie patys žymėjimai ir pagrindinės formulės kaip ir straipsnyje (Mockus, et al., 2014).

Pagrindiniai modelio kintamieji yra šie:

$z(t) = z(t, i)$ – akcijos kaina laiko momentu t , prognozuojama investuotojo i ,

$Z(t)$ – faktinė¹ akcijos kaina laiko momentu t ,

$U(t) = U(t, i)$ – faktinis pelnas, sukauptas investuotojo i per laiko momentą t ,

$\delta(t)$ – dividendai laiko momentu t ,

$\alpha(t)$ – pajamos laiko momentu t ,

$\gamma(t)$ – palūkanų norma laiko momentu t ,

$\beta(t, i)$ – santykinis akcijos kainų pokytis laiko momentu t , prognozuojamas investuotojo i :

$$\beta(t, i) = \frac{z(t + 1, i) - Z(t)}{Z(t)}. \quad (1)$$

Numatomas investicijos pelningumas² (santykinis pelnas) laiko momentu t priklauso nuo prognozuojamo akcijų kainų pokyčio $\beta_i(t)$, dividendų $\delta_i(t)$, pajamų $\alpha(t)$ ir palūkanų normos $\gamma(t)$:

$$p(t, i) = \begin{cases} \beta(t) + \delta(t) - \gamma(t), & \text{investuojami skolinti pinigai,} \\ \beta(t) + \delta(t) - \alpha(t), & \text{investuojami asmeniniai pinigai.} \end{cases} \quad (2)$$

Siekama pelno, todėl investuotojas i :

a) perka tam tikrą kiekį $n_b(t, i) \geq n(t)$ akcijų, jeigu pelningumas yra didesnis lyginant su santykinė transakcijos kaina $\tau(t, n)$; $p(t, i) > \tau(t, n)$;

b) parduoda akcijas, jeigu santykinis nuostolis (neigiamas pelningumas

¹ Terminas „faktinė“ reiškia imituota PORTFOLIO modelio.

² Terminas „pelnas“ gali turėti reikšmę „nuostoliai“, jei yra neigiamas.

$-p(t, i)$) yra didesnis nei transakcijos kaina $p(t, i) < -\tau(t, n)$;

c) nieko nedaro, jeigu $-\tau(t, n) \leq p(t, i) \leq \tau(t, n)$.

Santykinė transakcijos kaina apibrėžiama taip:

$$\tau(t, n) = \frac{\tau_0}{n(t)Z(t)}, \quad (3)$$

čia τ_0 – faktinė transakcijos kaina, $n = n(t)$ – transakcijos akcijų skaičius. Iš lygybės $\tau(t, n) = p(t, i)$ išplaukia, kad minimalus akcijų skaičius padengti transakcijos išlaidoms yra:

$$n(t) = \frac{\tau_0}{p(t, i)Z(t)}. \quad (4)$$

Todėl investuotojo i pirkimo ir pardavimo strategija $S(t, i)$ laiko momentu t pagal pelningumo lygmenis yra:

$$S(t, i) = \begin{cases} \text{pirkti } n_b(t, i) \geq n(t) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } p(t, i) \geq \tau(t, n) \text{ ir } n \leq n_b^{\max}, \\ \text{parduoti } n_s(t, i) \geq n(t) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } p(t, i) \leq -\tau(t, n) \text{ ir } n \leq n_s^{\max}, \\ \text{laukti,} & \text{jeigu } |p(t, i)| \leq \tau(t, n^{\max}), \end{cases} \quad (5)$$

čia $n^{\max} = \max(n_b^{\max}, n_s^{\max})$, kai n_b^{\max} yra maksimalus perkamų akcijų skaičius ir n_s^{\max} yra maksimalus parduodamų akcijų skaičius.

Jeigu

$$n_b(t, i) = n_b^{\max} \text{ ir } n_s(t, i) = n_s^{\max}, \quad (6)$$

pirkimo ir pardavimo strategija atspindi rizikai neutralių akcininkų elgesį. Šie akcininkai investuoja visus turimus išteklius, jei tikisi, kad pelningumas bus didesnis negu transakcijos kaina. Jeigu numatomi nuostoliai, visos akcijos yra parduodamos. Tai reiškia, kad akcininkai gali toleruoti didelę nuostolių tikimybę, jeigu numatomas pelnas yra teigiamas. Tokiu atveju yra numatytas maksimalus tikėtinas pelnas.

Iš (1) ir (2) formulių gauname pirkimo ir pardavimo strategiją $S(t, i)$ turint omenyje akcijų kainų lygmenis:

$$S(t, i) = \begin{cases} \text{pirkti } n_b(t, i) \geq n(t) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } Z(t) \leq z_b(t, n, i) \text{ ir } n \leq n_b^{\max}, \\ \text{parduoti } n_s(t, i) \geq n(t) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } Z(t) \geq z_s(t, n, i) \text{ ir } n \leq n_s^{\max}, \\ \text{laukti,} & \text{priešingu atveju.} \end{cases} \quad (7)$$

Čia investuotojo i laiko momentu t perkamos mažiausiai $n = n(t)$ akcijų kainos lygmuo yra:

$$z_b(t, n, i) = \frac{z(t+1, i)}{1 - \delta(t) + \alpha(t) + h(t) + \tau(t, n)}. \quad (8)$$

Investuotojo i laiko momentu t parduodamos mažiausiai $n = n(t)$ akcijų kainos lygis yra:

$$z_s(t, n, i) = \frac{z(t+1, i)}{1 - \delta(t) + \alpha(t) + h(t) + \tau(t, n)}, \quad (9)$$

kur $z(t + 1, i)$ yra investuotojo i laiko momentu $t + 1$ prognozuojama akcijų kaina.

3.1.1. Gauso modelis smulkiems akcininkams

Faktinė akcijos kaina laiko momentu $t + 1$ yra apibrėžiama kaip svarbiausių akcininkų ankstesnis sandoris ir triukšmas $\varepsilon(t)$. Sandoris įvyks, jeigu parduodantis akcininkas turi parduoti akcijų, o perkantis akcininkas turi pakankamų lėšų.

$$Z(t + 1) = \begin{cases} z_b(t, n) + Z(t) + \varepsilon(t + 1), & \text{jeigu } Z(t) < z_b(t, n), \\ z_s(t, n) + Z(t) + \varepsilon(t + 1), & \text{jeigu } Z(t) > z_s(t, n), \\ Z(t) + \varepsilon(t + 1), & \text{jeigu nėra sandorio.} \end{cases} \quad (12)$$

Triukšmas yra apibrėžiamas kaip atsitiktinis skaičius $Gaussian(0, v(i))$ su standartiniu nuokrypiu $v(i)$, atspindičiu akcijų nepastovumą. Gauso pasiskirstymas remiasi prielaida, kad triukšmas yra nepriklausomų atsitiktinių skaičių, rodančių kitų smulkių akcininkų pirkimo ir pardavimo veiksmus, suma. Kitas gerai žinomas metodas yra lognormalusis pasiskirstymas (Wilmott, 2007). Šis remiasi prielaida, kad triukšmas yra daugelio atsitiktinių kintamųjų sandauga.

3.1.2. Rinkos inercija

Štai ankstesnių formulių modifikacija:

$$Z(t+1) = \begin{cases} (1-a)z_b(t,n) + Z(t) + \epsilon(t+1), & \text{jeigu } Z(t) < z_b(t,n), \\ (1-a)z_s(t,n) + Z(t) + \epsilon(t+1), & \text{jeigu } Z(t) > z_s(t,n), \\ Z(t) + \epsilon(t+1), & \text{jeigu nėra sandorio.} \end{cases} \quad (13)$$

Modifikuota išraiška taip pat apima dabartines akcijų kainas. Tokiu būdu atsižvelgiama į tam tikrą akcijų rinkos su dideliu skaičiumi smulkių acininkų inerciją. Rinkos inercijos lygmuo apibrėžiamas kaip koeficientas $0 \leq a \leq 1$, kur jeigu $a = 0$, reiškia, kad inercijos nėra, o $a = 1$ apibrėžia maksimalią inerciją (tai reiškia, kad nėra rinkos reakcijos į paskutinį sandorį). Be to, atsižvelgiama į situacijas, kai pasiūlyta pirkimo kaina yra didesnė negu rinkos kaina, o pardavimo kaina tuo momentu mažesnė negu rinkos kaina. Inercija yra svarbesnė tik po kelių naujų į rinką įvestų akcijų. Taigi pateiktoje programinėje įrangoje pagal nutylėjimą parametras $a = 1.0$, jeigu $t \leq 20$. Jei laiko momentas ilgesnis, rinkos inercija kontroliuojama nustatant parametą a .

3.1.3. Pirkimo ir pardavimo kaina

Rinkos pirkimo kaina laiko momentu t yra didžiausia investuotojų $i = 1, \dots, I$ pirkimo kaina:

$$z_b(t, n) = z_b(t, n, i^{\max}), \quad (14)$$

čia $i^{\max} = \arg \max_i z_b(t, n, i)$.

Rinkos pardavimo kaina laiko momentu t yra mažiausia investuotojų $i = 1, \dots, I$ pardavimo kaina:

$$z_s(t, n) = z_s(t, n, i^{\min}), \quad (15)$$

čia $i^{\min} = \arg \min_i z_s(t, n, i)$.

Akcijų, priklausančių investuotojui i laiko momentu $t + 1$, kiekis yra

$$N(t+1, i) = \begin{cases} N(t, i) + n_b(t, n, i), & \text{jeigu } Z(t) < z_b(t, n), \\ N(t, i) - n_s(t, n, i), & \text{jeigu } Z(t) > z_s(t, n), \\ N(t, i), & \text{jeigu nėra sandorio.} \end{cases} \quad (16)$$

čia $n_b(t, n, i)$ ir $n_s(t, n, i)$ yra investuotojo i perkamų ir parduodamų akcijų kiekis laiko momentu t . Kad būtų paprasčiau, visas akcijų kiekis N_{sum} nėra ribojamas.

3.1.4. Investuotojų pelnas

Produktas $N(0, i) Z(0, i)$ yra investuotojo i kapitalo pradinės kainos $Z(0, i)$ pradinė investicija, kai jis nori nusipirkti $N(0, i)$ akcijų. Pradinės investuojamos lėšos yra $C_0(0, i)$, o pradinis kredito limitas yra $L(0, i)$.

$L(t, i)$, $t = 1, \dots, T$ yra galimas investuotojo i kreditas laiko momentu t . Investuotojo lėšos $C_0(t, i)$, galimos investuoti laiko momentu t , apibrėžiamos šia rekurentine išraiška:

$$C_0(t, i) = C_0(t-1, i) - (N(t, i) - N(t-1, i)) Z(t), \quad (17)$$

čia $t = 1, \dots, T$, o sandauga $(N(t, i) - N(t-1, i)) Z(t)$ nusako pinigus, už kuriuos perkamos ir parduodamos akcijos.

Akcijos yra įsigyjamos už investuotojo nuosavus pinigus $C_0(t, i)$ ir pasiskolintas lėšas $b(t, i)$ laiko momentu t . Investuotojo i pasiskolinta suma, sukaupta laiko momentu t , yra:

$$B(t, i) = \sum_{s=1}^t b(s, i). \quad (18)$$

Simbolis $b(t, i)$ rodo, kiek investuotojas i pasiskolina laiko momentu t :

$$b(t, i) = \begin{cases} -C_0(t, i), & \text{jeigu } -L(t, i) \leq C_0(t, i) < 0, \\ 0, & \text{jeigu } 0 \leq C_0(t, i), \\ \text{nemokus laiko momentu } t = t_i^*, & \text{jeigu } -L(t, i) > C_0(t, i) - B_{\text{sum}}(t, i) + N(t, i) Z(t). \end{cases} \quad (19)$$

(19) formulė apibrėžia ilgalaikes paskolas, kur dažnos transakcijos nėra ekonominės ar apribotos sutarčių. Jų privalumas yra mažesnė palūkanų norma

$\gamma(t)$.

$b(t, i)$

$$= \begin{cases} -C_0(t, i), & \text{jeigu } -L(t, i) \leq C_0(t, i) < 0, \\ -C_0(t, i), & \text{jeigu } 0 \leq C_0(t, i) < B(t, i), \\ 0, & \text{jeigu } B(t, i) \leq C_0(t, i), \\ \text{nemokus laiko momentu } t = t_i^*, & \text{jeigu } -L(t, i) > C_0(t, i) - B_{\text{sum}}(t, i) + N(t, i) Z(t). \end{cases} \quad (20)$$

Pagal (20) formulės antrą eilutę vartotojas i „skolinasi“ neigiamą sumą $b(t, i) = -C_0(t, i)$, jeigu $0 < C_0(t, i) \leq B(t, i)$, o tai reiškia, kad vartotojas moka atgal dalį $b(t, i)$ paskolos $B(t, i)$, iš turimų lėšų $C_0(t, i)$. Ši formulė apibrėžia trumpalaikę paskolą su dažnų transakcijų tikimybe. Jos trūkumas yra didesnė palūkanų norma $\gamma(t)$.

Visos skolinimosi išlaidos yra:

$$B_{\text{sum}}(t, i) = B(t, i) + \sum_{s=1}^t B(s, i) \gamma(s, i), \quad (21)$$

čia $B(t, i)$ žymi paskolą, sukauptą laiko momentu T , o $\sum_{s=1}^t B(s, i) \gamma(s, i)$ žymi palūkanas.

Investuotojo (akcininko) gaunamas pelnas – skirtumas tarp pajamų iš parduodamų ir perkamų akcijų $D(t, i)$ ir išlaidų skolinantis lėšas $B_{\text{sum}}(t, i)$:

$$U(t, i) = D(t, i) - B_{\text{sum}}(t, i), \quad (22)$$

čia

$$D(t, i) = N(t, i)Z(t) - N(0, i)Z(0). \quad (23)$$

Turimos lėšos iš investuotojo i laiko momentu t yra:

$$C(t, i) = C_0(t, i) + L(t, i) - B_{\text{sum}}(t, i). \quad (24)$$

Investuotojas bando padidinti pelną skolinantis pinigus, kad investuotų į akcijas, kurios vertingesnės palyginti su palūkanų kaina. Tai reiškia, kad akcijos panaudojamos investicijai.

Perkamų akcijų skaičius $n_b(t)$ laiko momentu t yra apribotas tokia nelygybe:

$$n(t) \leq n_b(t, i) \leq \frac{C(t, i)}{Z(t)}. \quad (25)$$

(25) nelygybės pirmoji dalis apriboja transakcijų kainas. Iš (19) formulės aiškėja, kad akcininkas bus nemokus laiko momentu $t = t_i^*$, jeigu paskola viršija turta:

$$B_{\text{sum}}(t_i, i) > C_0(t_i, i) + L(t_i, i) + N(t, i) Z(t), \quad (26)$$

nes neturės pakankamai pinigų, kad gražintų atgal visą pasiskolintą sumą $B_{\text{sum}}(t_i^*, i)$. Taip gali atsitikti ir neperkant daugiau akcijų, nes palūkanos $B_{\text{sum}}(t, i)$ kaupiamos automatiškai.

Atsižvelgiant į daugelio lygmenų operacijas, akcijoms $n_b(t)$ nustatomi papildomi apribojimai.

3.1.5. Banko pelnas

Iš (26) formulės aiškėja, kad banko nuostoliai laiko momentu t_i^* yra:

$$B_{\text{loss}}(t_i^*, i) = B_{\text{sum}}(t_i^*, i) - C_0(t_i^*, i) - N(t_i^*, i) Z(t_i^*). \quad (27)$$

Visi banko nuostoliai, sukaupti laiko momentu $t \geq \max_i t_i^*$, yra:

$$B_{\text{loss}}(t) = \sum_i B_{\text{loss}}(t_i^*, i). \quad (28)$$

Banko pajamos:

$$D(t) = \sum_{s=1}^t \sum_{i=1}^I B(s, i) \gamma(s, i). \quad (29)$$

Banko pelnas:

$$U(t) = D(t) - B_{\text{loss}}(t). \quad (30)$$

3.1.6. Daugelio lygmenų operacijos

Norint identifikuoti riziką suvokiančius akcininkus, reikia bent jau trijų pirkimo pelningumo lygmenų $p_b(t, i, l)$, $l = 1, 2, 3$, kur

$$p_b(t, i, l + 1) > p_b(t, i, l), p_b(t, i, 1) = \tau(t), \quad (31)$$

ir trijų pardavimo pelningumo lygmenų $p_s(t, i, l)$, $l = 1, 2, 3$, kur

$$\begin{aligned} p_s(t, i, l + 1) &< p_s(t, i, l), p_s(t, i, 1) = -\tau(t), \\ p_b(t, i, l) &> p_s(t, i, 1), \end{aligned} \quad (32)$$

kad galima būtų paaiškinti pagrindinių akcininkų elgesį. Pavyzdžiui, lygmuo $l = 1$ reiškia pirkti ir parduoti tik vieną akciją. Lygmuo $l = 3$ reiškia pirkti ir parduoti kiek tik įmanoma daugiau akcijų, o lygmuo $l = 2$ yra per vidurį.

Taigi perkamų akcijų kiekis laiko momentu t , kai pelningumo lygmuo $l = 3$, yra:

$$n_b(t, i, 3) = \text{int} \left(\frac{C(t, i)}{Z(t)} \right), \text{ jeigu } p(t, i) \geq p_b(t, i, 3). \quad (33)$$

Perkamų akcijų kiekis laiko momentu t , kai pelningumo lygmuo $l = 2$, yra:

$$\begin{aligned} n_b(t, i, 2) &= \text{int} \left(\frac{C(t, i)}{2Z(t)} \right), \text{ jeigu } p_b(t, i, 2) \leq p(t, i) \\ &< p_b(t, i, 3). \end{aligned} \quad (34)$$

Perkamų akcijų kiekis laiko momentu t , kai pelningumo lygmuo $l = 1$, yra:

$$n_b(t, i, 1) = 1, \text{ jeigu } p(t, i, 1) \leq p(t, i) < p_b(t, i, 2). \quad (35)$$

Investuotojas i akcijų neparduoda, jeigu maksimalūs tikėtini nuostoliai yra mažesni nei transakcijos kaina $N(t, i)Z(t)p(t, i) < -\tau(t)$, čia $N(t, i)$ yra galimų nusipirkti akcijų kiekis laiko momentu t .

Ši pirkimo ir pardavimo strategija apytikriai aprašo rizikos vengiančius akcininkus, jie investuoja didesnes sumas, jeigu nuostolių tikimybė yra mažesnė.

Galimas parduodamų akcijų kiekis laiko momentu t , kai pardavimo pelningumo lygmuo $l = 3$, yra:

$$n_s(t, i, 3) = N(t, i), \text{ jeigu } p(t, i) \leq p_s(t, i, 3). \quad (36)$$

Parduodamų akcijų kiekis laiko momentu t , kai pardavimo pelningumo

lygmuo $l = 2$, yra:

$$n_s(t, i, 2) = \frac{N(t, i)}{2}, \text{ jeigu } p_s(p(t, i, 3) > p(t, i) \leq p_s(t, i, 2). \quad (37)$$

O parduodamų akcijų kiekis laiko momentu t , kai pardavimo pelningumo lygmuo $l = 1$, yra:

$$n_s(t, i, 1) = 1, \text{ jeigu } p_s(t, i, 2) > p(t, i) \leq p_s(t, i, 1). \quad (38)$$

Čia

$$n_b(t, i, l) \leq n_b(t, i, l + 1), l = 1, 2, 3, n_b(t, i, 3) = \text{int} \left(\frac{C(t, i)}{Z(t)} \right), \quad (39)$$

$$n_s(t, i, l) \leq n_s(t, i, l + 1), l = 1, 2, 3, n_s(t, i, 3) = N(t, i).$$

Daugiau informacijos apie akcijų biržos modelį yra pateikta (Mockus, 2012).

3.2. Prekybos strategijos, daugelio akcijų operacijos, portfelio problema

Šioje PORTFOLIO modelio versijoje yra realizuota 190 skirtingų prekybos strategijų. Prekybos strategija yra apibrėžiama kaip prekybos taisyklės ir prognozavimo modelio pora, nes pelnas priklauso nuo abiejų šių veiksnių. Taigi skirtingoms strategijoms generuoti taikoma dešimt prekybos taisyklių ir devyniolika prognozavimo modelių.

Šiame skyriuje pirmiausia pristatytos keturios euristinės investavimo taisyklės, jos apibūdina tam tikrų realių akcininkų, turinčių skirtingų požiūrių į riziką, elgesį. Jų privalumas – procedūros, leidžiančios lengvai atnaujinti duomenis kiekvieną dieną. Tai yra labai svarbu, kai investuojama trumpam laikotarpiui.

Atsižvelgiant į ilgalaikį investavimą, aprašytos dar dvi taisyklės. Pirmoji iš jų grindžiama naudingumo teorija ir įvertina riziką naudodama išgyvenimo

tikimybes. Antroji taisyklė imituoja MPT, maksimizuodama Šarpo rodiklį. Šių abiejų taisyklių privalumas yra tam tikras jų teorinis pagrindas. O trūkumas – ilgesnis skaičiavimo laikas, todėl šiame darbe jos taikomos tik ilgalaikio investavimo atvejais.

Prie dviejų teorija pagrįstų prekybos taisyklių pridedamos keturios euristinės taisyklės, sukurtos modifikuojant keturias trumpalaikes prekybos taisykles. Be tam tikrų eksperimentų, duomenys yra suskirstyti į mokymosi ir testavimo rinkinius be galimybės kasdien atnaujinti duomenis, kuri yra įprasta ilgalaikio investavimo atveju. Rezultatai yra naudojami portfeliui pirkti testavimo pradžioje. Testavimo pabaigoje portfelis yra parduodamas ir skaičiuojamas gautas pelnas. Taigi sukurta dešimt skirtingų prekybos taisyklių. Pirmoji taisyklė aprašyta formaliai ir visiškai. Kitos taisyklės, kurių formulės yra panašios, nusakomos bendromis sąvokomis.

3.2.1. Prekybos taisyklė Nr.1 Riziką suvokiantys akcininkai: pirkti pelningiausią akciją – parduoti visas nuostolingas pagal tris pelningumo (nuostolingumo) lygmenius

Šiame skyriuje pateikiamos operacijos, kurios apima skirtingas akcijas, pažymėtas indeksais $j = 1, \dots, J$. Investuotojo i laiko momentu t įsigytos j -osios akcijos pelningumas žymimas $p(t, i, j)$. Akcija su didžiausiu pelningumu žymima j^{\max} ir lygi:

$$j^{\max} = \arg \max_j p(t, i, j). \quad (40)$$

Iš pradžių investuotojas i parduoda visas nepelningas akcijas:

$$p_s(t, i, j) \leq -\tau(t, i, j), \quad (41)$$

ir tada investuoja visas turimas lėšas į pelningesnę akciją. Ši pardavimo strategija atspindi riziką suvokiančius vartotojus, kurie laiko tam tikras nepelningesnes akcijas tam, kad išvengtų galimų nuostolių, jeigu prognozės būtų klaidingos.

Investuotojo i nuosavos lėšos laiko momentu t , įskaitant pajamas iš parduotų nepelningų akcijų, išreikštos suma:

$$C_0(t, i) = \sum_j C_0(t, i, j), \quad (42)$$

čia $C_0(t, i, j)$ yra apibrėžiama šia rekurentine formule:

$$C_0(t, i, j) = C_0(t - 1, i, j) - (N(t, i, j) - N(t - 1, i, j)) Z(t, j). \quad (43)$$

Galimos investuoti investuotojo lėšos yra apibrėžiamos šia formule:

$$C(t, i) = C_0(t, i, j) + L(t, i) - B_{\text{sum}}(t, i), \quad (44)$$

čia $t = 1, \dots, T$, $L(t, i)$ yra kredito limitas laiko momentu t , $B_{\text{sum}}(t, i)$ yra pasiskolinta suma, apibrėžta kelių akcijų išplėtimu iš formulės (21).

Tada investuotojas i investuoja visus išteklius pelningiausios akcijos j^{\max} pirkimui. Tai reiškia, kad investuotojas i parduoda akcijas kaip riziką žinantis vartotojas, bet perka akcijas kaip rizikai neutralus vartotojas. Taigi, įmanomas nusipirkti akcijų skaičius $j = j^{\max}$ laiko momentu t yra:

$$n_b(t, i, j^{\max}) = \text{int} \left(\frac{C(t, i)}{Z(t, j^{\max})} \right), \text{ jeigu } p(t, i, j^{\max}) > \tau(t, i, j^{\max}). \quad (45)$$

Investuotojo i bendra pirkimo ir pardavimo strategija $S_0(i, j)$ laiko momentu $t + 1$ yra:

$$S_0(i, j) = \begin{cases} \text{laukti,} & \text{jeigu } p(t, i, j^{\max}) \leq \tau(t, i, j^{\max}), \\ \text{naudoti aktyvią strategiją } S(i, j), & \text{kitu atveju,} \end{cases} \quad (46)$$

čia aktyvi strategija $S(l, i, j)$ yra:

$$S(i, j) = \begin{cases} \text{parduoti } n_s(t, i, j, 1) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } p(t, i, j) \leq p_s(t, i, j, 1) = -\tau(t, j), \\ & \text{ir } p(t, i, j) > p_s(t, i, j, 2), \\ \text{parduoti } n_s(t, i, j, 2) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } p(t, i, j) \leq p_s(t, i, j, 2), \\ & \text{ir } p(t, i, j) > p_s(t, i, j, 3), \\ \text{parduoti } n_s(t, i, j, 3) \text{ akcijas,} & \text{jeigu } p(t, i, j) \leq p_s(t, i, j, 3), \\ \text{pirkti } n_b(t, i, j^{\max}) \text{ akcijas už visas lėšas,} & \end{cases} \quad (47)$$

čia $p(t, i, j)$ yra investuotojo i akcijų j pelningumas laiko momentu t , apibrėžtas kelių akcijų išplėtimu iš formulės (2) ir pelningumo lygmenų,

apibrėžtų iš šios formulės:

$$p_s(t, i, j, l) = -\tau(ij) l, l = 1, 2, 3. \quad (48)$$

Akcijų j kiekis, priklausantis investuotojui i laiko momentu $t + 1$, kai naudojama strategija $S_0(i, j)$, yra:

$$N(t + 1, i, j) = \begin{cases} N(t, i, j) + n_b(t, i, j^{\max}), & \text{jeigu } p(t, i, j^{\max}) > \tau(t, i, j^{\max}), \\ N(t, j) - n_s(t, i, j, 1), & \text{jeigu } p(t, i, j) \leq p_s(t, i, j, 1) = -\tau(t, j), \\ & \text{ir } p(t, i, j) > p_s(t, i, j, 2), \\ N(t, j) - n_s(t, i, j, 2), & \text{jeigu } p(t, j, i) \leq p_s(t, i, j, 2), \\ & \text{ir } p(t, i, j) > p_s(t, i, j, 3), \\ N(t, j) - n_s(t, i, j, 3), & \text{jeigu } p(t, i, j) \leq p_s(t, i, j, 3), \\ N(t, j), & \text{jeigu nėra nei vieno sandorio.} \end{cases} \quad (49)$$

PORTFOLIO modelyje kelių pagrindinių investuotojų parduodamų akcijų kiekis nėra lygus šių investuotojų perkamų akcijų kiekiui. Daroma prielaida, kad tikslią pusiausvyrą nustato didelis mažų investuotojų, kurie perka, jeigu kainos mažos, ir parduoda, jeigu kainos didelės, kiekis.

Investuotojo i akcijos j pirkimo ir pardavimo kainos laiko momentu t priklauso nuo pirkimo ir pardavimo lygmenų l . Taikant formulę (2) pirkimo ir pardavimo kainos lygmenys užrašomi šitaip:

$$z_b(t, i, j^{\max}) = \frac{z(t + 1, i, j^{\max})}{1 - \delta(t) + \alpha(t) + h(t) + \tau(t, j^{\max})}, \quad (50)$$

$$z_s(t, i, j, l) = \frac{z(t + 1, i, j)}{1 - \delta(t) + \alpha(t) + h(t) - \tau(t, j)l}, l = 1, 2, 3.$$

Faktinė akcijos kaina laiko momentu $t + 1$ yra apibrėžiama kaip pagrindinių akcininkų ankstesnio sandorio kaina ir sutrumpintas Gauso triukšmas, išreiškiantis kitus smulkius akcininkus. Taigi faktinė akcijos j kaina laiko momentu $t + 1$, nustatyta investuotojo i pirkimo ir pardavimo veiksmų, yra:

$$\begin{aligned}
Z(t+1, i, j) = & \\
= & \begin{cases} (1-a)z_b(t, i, j^{\max}) + aZ(t, j^{\max}) + \varepsilon(t+1), & \text{jeigu } p(t, i, j^{\max}) > 0, \\ (1-a)z_s(t, i, j, 1) + aZ(t, j) + \varepsilon(t+1, j), & \text{jeigu } p(t, i, j) \leq p_s(t, i, j, 1) = -\tau(t, j), \\ & \text{ir } p(t, i, j) > p_s(t, i, j, 2), \\ (1-a)z_s(t, i, j, 2) + aZ(t, j) + \varepsilon(t+1, j), & \text{jeigu } p(t, i, j) \leq p_s(t, i, j, 2), \\ & \text{ir } p(t, i, j) > p_s(t, i, j, 3), \\ (1-a)z_s(t, i, j, 3) + aZ(t, j) + \varepsilon(t+1, j), & \text{jeigu } p(t, i, j) \leq p_s(t, i, j, 3), \\ Z(t, j) + \varepsilon(t+1, j), & \text{jeigu nėra nei vieno sandorio.} \end{cases} \quad (51)
\end{aligned}$$

Formulė (51), išreikšta pirkimo ir pardavimo kainos lygmenimis, užrašoma šitaip:

$$\begin{aligned}
Z(t+1, i, j) = & \\
= & \begin{cases} (1-a)z_b(t, i, j^{\max}) + aZ(t, j^{\max}) + \varepsilon(t+1), & \text{jeigu } Z(t, j^{\max}) \leq z_b(t, i, j^{\max}), \\ (1-a)z_s(t, i, j, 1) + aZ(t, j) + \varepsilon(t+1, j), & \text{jeigu } Z(t, i, j) \geq z_s(t, i, j, 1), \\ & \text{ir } Z(t, i, j) < z_s(t, i, j, 2), \\ (1-a)z_s(t, i, j, 2) + aZ(t, j) + \varepsilon(t+1, j), & \text{jeigu } Z(t, i, j) \geq z_s(t, i, j, 2), \\ & \text{ir } Z(t, i, j) < z_s(t, i, j, 3), \\ (1-a)z_s(t, i, j, 3) + aZ(t, j) + \varepsilon(t+1, j), & \text{jeigu } Z(t, i, j) \geq z_s(t, i, j, 3), \\ Z(t, j) + \varepsilon(t+1, j), & \text{jeigu nėra nei vieno sandorio.} \end{cases} \quad (52)
\end{aligned}$$

čia triukšmas $\varepsilon(t+1, j)$ generuojamas sutrumpinto Gauso pasiskirstymo su minimaliomis reikšmėmis, apribotomis šia daugelio akcijų versija:

$$Z(t+1, i, j) \geq \rho_j + 3\tau_0, \quad (53)$$

čia $\rho_j > 0$ yra minimali akcijos kaina „nemokumo lygis“. Ši nelygybė yra sudaroma ignoruojant tas ε reikšmes, kurios kerta apatinę ribą (53).

Tačiau kyla problema, kaip apibrėžti $Z(t+1, j)$, jeigu kelios pirkimo sąlygos patenkina tuo pačiu metu skirtingus akcininkus i . Galimas sprendimas – suteikti pirmenybę tam pirkėjui, kurio pirkimo slenkstį $z_b(t, i, j^{\max})$ kainos linija $Z(t, j^{\max})$ kerta pirmiausia.

Todėl šią taisyklę galima užrašyti kaip maksimizaciją pagal i :

$$i^{\max} = \arg \max_i z_b(t, i, j^{\max}). \quad (54)$$

3.2.2. Prekybos taisyklė Nr. 2 Riziką suvokiantys akcininkai: pirkti pelningiausią akciją – parduoti visas nuostolingas

Iš pradžių investuotojas i parduoda visas nepelningas akcijas (14) ir tada investuoja visas turimas lėšas į pelningesnę akciją. Akcininkas i neparduoda

akcijos j , jei tikėtinas nuostolis mažesnis negu transakcijos kaina.

Ši pardavimo strategija atspindi riziką suvokiančius vartotojus, laikančius kai kurias nepelningesnes akcijas tam, kad išvengtų galimų nuostolių, jeigu prognozės būtų klaidingos. Pažymėtina, kad į riziką atsižvelgiantys vartotojai taip pat laiko dalį nuostolingų akcijų.

3.2.3. Prekybos taisyklė Nr. 3 Rizikai neutralūs akcininkai: pirkti pelningiausią akciją – parduoti visas kitas

Rizikai neutralus akcininkas visų pirma parduoda visas akcijas, išskyrus vieną, pelningiausią, tam, kad padidintų lėšas pelningiausiai akcijai pirkti. Tokiu būdu padidinamas numanomas pelnas ir ignoruojama rizika. Ši aplinkybė ir paaiškina terminą „rizikai neutralūs akcininkai“. Tai sąmoningas labai turtingų vartotojų, kurie investuoja tik nedidelę dalį savo turto, elgesys

3.2.4. Prekybos taisyklė Nr. 4 Rizikos vengiantys akcininkai: pardavimas ir pirkimas proporcingi pelningumui

Šiame skyriuje pateikiamos operacijos, kurios apima skirtingas akcijas, pažymėtas indeksais $j = 1, \dots, J$. Investuotojo i laiko momentu t įsigytos j -osios akcijos pelningumas žymimas $p(t, i, j)$. Akcijos su teigiamu pelningumu žymimos J_+ , o akcijos su neigiamu pelningumu žymimos J_- . Tuomet $J_b = |J_+|$ ir $J_s = |J_-|$.

$$j_+^{\max} = \arg \max_{j \in J_+} p(t, i, j), \quad (55)$$

ir

$$j_-^{\min} = \arg \min_{j \in J_-} p(t, i, j). \quad (56)$$

Visų pirma, parduodamos akcijos proporcingai neigiamiems pelningumo lygmenims. Tada už visas sukauptas lėšas perkamos akcijos proporcingai teigiamiems pelningumo lygiams. Taigi rizikos vengiantys vartotojai perka kai kurias akcijas su nepelningesnėmis prognozėmis. Taip jie po lygiai paskirsto

lėšas, ne taip kaip kitų tipų vartotojai, ir yra mažiau linkę rizikuoti

3.3. Ilgalaikis investavimas

Ankstesniuose skyriuose aprašytas trumpalaikis dieninis investavimas. Portfelio problema liečia ir optimalią ilgalaikę įvairovę nustatant galimų išteklių optimalų pasiskirstymą tarp skirtingų turtų. 3.3.2. skyriuje sprendžiama Šarpo rodiklio maksimizavimo problema, išeinanti iš MPT. Kaip alternatyva Šarpo rodikliui – naudingumo funkcijos metodas, aptartas 3.3.1. skyriuje.

Ilgalaikio investavimo atveju modelio parametrai apibrėžiami kaip mokymosi rinkinys, pavyzdžiui, trijų, šešių ar dvylikos mėnesių. Tada modelis taikomas su šiais parametrais, apibrėžiančiais testavimo rinkinio investavimo strategijas. Šiame darbe įvertinami skirtingų ilgalaikių strategijų, naudojančių tokio pačio laiko intervalo, kaip ir mokymosi rinkinio, testavimo rinkinį, privalumai. Be to, šis dvigubas rinkinys naudojamas visoms keturioms euristinėms trumpalaikėms strategijoms. Taigi sukurtos keturios papildomos ilgalaikės strategijos, sunumeruotos nuo Nr. 7 iki Nr. 10.

3.3.1. Prekybos taisyklė Nr. 5 Rizikos apibrėžimas pagal bankroto tikimybes ir individualią naudingumo funkciją

MPT alternatyva – rizikos vertinimas pagal individualias naudingumo funkcijas, nustatančias tam tikrą investuotojų pelno ir rizikos santykį (Fishburn, 1964; Mockus, et al., 1997; Sharpe, 2007; Mockus, 2014). (Sharpe, 2007) straipsnyje ši problema išspręsta darant prielaidą, kad šis nežymus naudingumas yra mažėjančios funkcijos priedas. Ši prielaida patvirtina, kad investuotojas yra nelinkęs rizikuoti. Šiuo atveju neapimami investuotojai, kurie linkę rizikuoti tol, kol investuoja mažas sumas, ir nelinkę rizikuoti investuoti didelių sumų. Šiems investuotojams modeliuoti reikalingas globalus optimizavimas. Programinės įrangos testas automatiškai įvertinti asmenų

naudingumo funkcijai yra įgyvendintas PORTFOLIO-2 (Mockus, 2014).

Investavimo į terminuotus indėlius atveju pelnas α_i yra apibrėžiamas kaip sutartys. Tik bankų patikimumas $p_i, i = 1, \dots, n_b$ yra neaiškus. Investavimo į akcijas atveju, be įmonių patikimumo $p_i, i = n_b + 1, \dots, n$, taip pat nėra aiškios būsimos akcijų kainos. Prognozuojamos santykinės akcijų kainos yra apibrėžiamos koeficientu β_i , jis parodo priklausomybę tarp dabartinių ir prognozuojamų akcijų kainų. Prognozavimo „horizontas“ turėtų būti toks pat, kaip terminuotų indėlių termino laikas.

Siekiant supaprastinti modelį tariama, kad vienas prognozuoja L skirtingas santykinės akcijų kainų reikšmes $\beta_i^l, l = 1, \dots, L$ su numatytomis tikimybėmis $p_i^l, \sum_{l=1}^L p_i^l = 1, p_i^l \geq 0$. Tai reiškia, kad L daugiareikšmiai akcijų koeficientai $c_i^l = 1 + \beta_i^l, l = 1, \dots, L$ ir terminuotų indėlių vienareikšmiai koeficientai $c_i = \beta_i$.

Tokiu atveju galima nustatyti turto $y^i, i = 1, \dots, n + m$ diskrečiųjų reikšmių tikimybes $p(y^i)$ pagal tikslias išraiškas.

Šio metodo privalumas yra jo geras teorinis pagrindas, o trūkumas – didelis skaičiavimų kiekis, reikalingas maksimizuoti naudingumo funkcijai. Ši, jei nėra išgaubta, gali būti daugiamodalinė. Tačiau pagrindinis šio metodo keblumas yra išliekamų tikimybių patikimas apibrėžimas. Todėl 3.3.2 skyriuje aprašyta investicijų diversifikavimo versija, maksimizuojanti Šarpo rodiklio modifikaciją.

3.3.2. Prekybos taisyklė Nr. 6 Šarpo rodiklio maksimizavimas – Moderni portfelio teorija (MPT)

MPT yra investavimo, kurio pasirinktas tikslas – sukaupti vertybiniai popieriai, kolektyviai turintys mažesnę riziką nei koks nors individualus turtas, diversifikavimo, matematinis formulavimas. Diversifikavimas sumažina riziką net jei vertybiniai popieriai teigiamai koreliuoja (Markowitz, 1959; Markowitz,

1952; Merton, 1972).

MPT modeliai yra turto graža kaip stochastinė funkcija ir apibrėžia riziką kaip standartinę gražos nuokrypį. MPT nustato portfelį kaip svertinį turto derinį, o portfelio graža yra svertinis turto gražos derinys. Kad galima būtų apibrėžti skirtingų aktyvų svorius, MPT siekia sumažinti bendrą portfelio gražos dispersiją. Taip pat į portfelį gali būti įtrauktas nerizikingas turtas.

(Sharpe, 1966) straipsnyje Šarpo rodikis yra apibrėžiamas taip:

$$S = \frac{E[R_a - R_b]}{\sigma} = \frac{E[R_a - R_b]}{\sqrt{\text{var}[R_a - R_b]}} \quad (57)$$

čia R_a yra turto graža, R_b yra lyginamojo turto graža, tokia kaip nerizikinga gražos norma arba kaip S&P 500 indeksas. $E[R_a - R_b]$ yra numanoma turto gražinimo per lyginamąją gražą pertekliaus reikšmė, o σ yra šios laukiamos perteklinės gražos standartinis nuokrypis.

Duomenys nuo laiko momento $t = 1$ iki $t = T$ yra mokymosi rinkinys. Bandymų rinkinys yra nuo $t = T + 1$ iki $t = 2T$. Siekiant supaprastinti išraišką, galima manyti, kad turimos lėšos $I(t) = 1$ su reguliuojamu masteliu.

Pažymėtina, kad cikliniai procesai pasaulio finansuose nenagrinėjami šiame darbe.

3.3.3. Trumpalaikių taisyklių pritaikymas ilgalaikiam investavimui

Trumpojo laikotarpio prekyboje kitos dienos akcijos kainai prognozuoti naudojami ankstesni duomenys. Investiciniai sprendimai pagal keturias euristicines prekybos taisykles buvo grindžiami šiomis prognozėmis.

Panašios taisyklės buvo taikomos kurti kitoms keturioms ilgalaikėms taisyklėms. Skirtumas yra tas, kad pastarųjų taisyklių atveju akcijų kainos prognozuotos ne kasdien, bet tik vieną kartą visam mokymosi rinkiniui, pavyzdžiui, trims, šešiams ar dvylikai mėnesių. Investavimas vykdomas remiantis prognozėmis ir parduodamu turtu kaip įprastai tokio pačio testavimo

periodo kaip ir mokymosi pabaigoje. Šios keturios prekybos taisyklės yra sunumeruotos nuo Nr. 7 iki Nr. 10.

3.4. Prognozavimo modeliai

3.4.1. AR(p) modelis

Tariama, kad investuotojas i prognozuoja kitos dienos akcijos kainą $z(t + 1, i)$ naudodamas AR(p) modelį (Cochrane, 1997). Profesionalūs investuotojai įprastai bando gauti papildomos informacijos apie akcijų principus taikydami sudėtingus statistinius modelius. Taigi AR(p) modelis gali būti laikomas paprastu neprofesionalaus investuotojo, kuris priima investicijas remdamasis pastarųjų p dienų pastebėtais duomenimis, simulatoriumi.

Investuotojo i pelnas priklauso nuo prognozavimo tikslumo $\beta(s, i)$ laiko momentu s ($s = 1, \dots, t$, čia t žymi esamą laiką). Tuomet kitos dienos akcijos kaina apibrėžiama taip:

$$Z(s + 1) = \sum_{k=1}^3 a_k Z(s - k + 1) + \epsilon_{s+1}. \quad (58)$$

Ši formulė aprašo įprastą autoregresinį AR(p) modelį, tačiau šio darbo kontekste formulė (58) atspindi akcininkų, kurie priima investicinius sprendimus remdamiesi optimalia kitos dienos prognoze, gauta naudojant ankstesnius duomenis, elgesį. Svarbi šio darbo užduotis yra ištirti, kaip portfelio pelnas priklauso nuo standartinių statistinių prognozavimo paklaidų.

Atsižvelgiant į rizikai neutralius vartotojus taikomas AR-ABS modelis, minimizuojantis absoliučias paklaidas vietoje kvadratinių. Šio ir kitų prognozavimo modelių taikymas PORTFOLIO sistemoje yra detaliau aprašytas (Mockus, 2012; Mockus, et al., 2014).

3.4.2. ARIMA modelio skirtingų nustatymų palyginimas

Ekspertinių sistemų, skirtų akcijų biržai imituoti, svarbi dalis yra prognozavimo modeliai, jie yra bendrųjų prekybos taisyklių dalis. Siekiant iširti, kaip prognozavimo paklaida priklauso nuo ARIMA parametrų, pateikti šie eksperimentai.

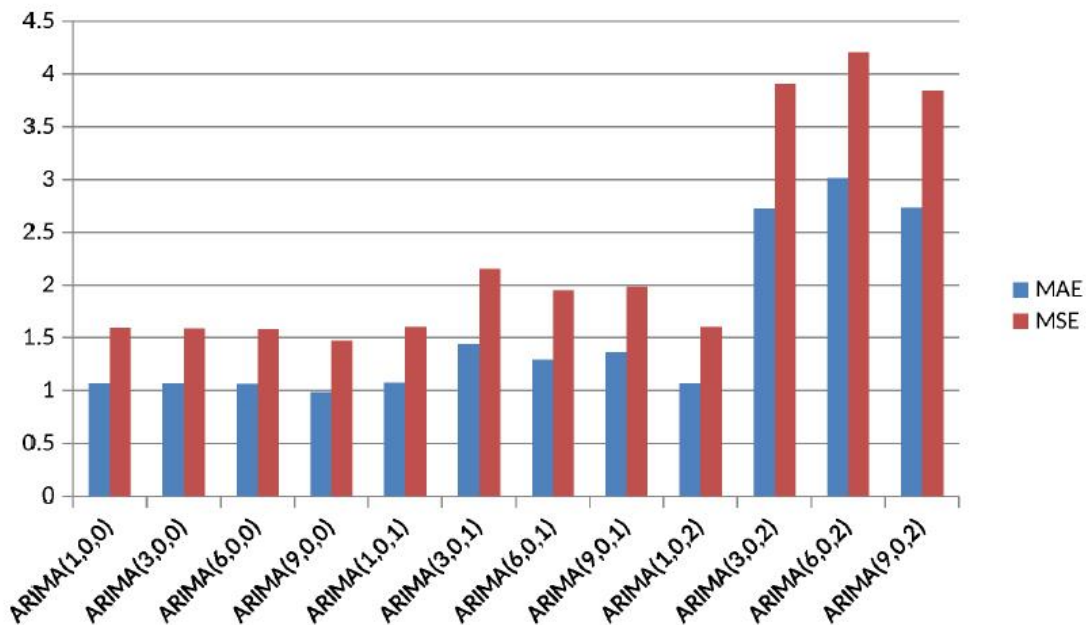
1 lentelėje pateiktas skirtingoms komercinėms veikloms atstovaujančių akcijų, kurios įtrauktos į testavimo rinkinį, sąrašas.

1 lentelė Skirtingoms komercinėms veikloms atstovaujančių akcijų, kurios įtrauktos į testavimo rinkinį, sąrašas

1. 21st Century Fox	33. Discovery Communications	66. Monster Beverage
2. Activision Blizzard	34. Dollar Tree	67. Mylan
3. Adobe Systems Incorporated	35. eBay	68. NetApp
4. Akamai Technologies	36. Equinix	69. Netflix
5. Alexion Pharmaceuticals	37. Expedia	70. Nuance Communications
6. Altera Corporation	38. Expeditors International of Washington	71. NVIDIA Corporation
7. Amazon	39. Express Scripts	72. O'Reilly Automotive
8. Amgen	40. F5 Networks	73. PACCAR
9. Analog Devices	41. Facebook	74. Paychex
10. Apple	42. Fastenal Company	75. Priceline
11. Applied Materials	43. Fiserv	76. QUALCOMM
12. Autodesk	44. Fossil	77. Regeneron Pharmaceuticals
13. Automatic Data Processing	45. Garmin Ltd.	78. Ross Stores
14. Avago Technologies	46. Gilead Sciences	79. SanDisk Corporation
15. Baidu	47. Google	80. SBA Communications
16. Bed Bath & Beyond	48. Green Mountain Coffee Roasters	81. Seagate Technology Holdings
17. Biogen Idec	49. Henry Schein	82. Sears Holdings Corporation
18. Broadcom Corporation	50. Intel Corporation	83. Sigma-Aldrich Corporation
19. C.H. Robinson Worldwide	51. Intuit	84. Sirius XM Radio
20. CA	52. Intuitive Surgical	85. Staples
21. Catamaran Corporation	53. KLA Tencor Corporation	86. Starbucks Corporation
22. Celgene Corporation	54. Kraft Foods	87. Stericycle
23. Cerner Corporation	55. Liberty Global	88. Symantec Corporation
24. Charter Communications	56. Liberty Interactive	89. Texas Instruments
25. Check Point Software Technologies	57. Liberty Media	90. Tesla Motors
26. Cisco Systems	58. Linear Technology Corporation	91. Verisk Analytics
27. Citrix Systems	59. Marriott International	92. Vertex Pharmaceuticals
28. Cognizant Technology	60. Mattel	93. Viacom

Solutions Corporation	61. Maxim Integrated	94. VimpelCom, Ltd.
29. Comcast Corporation	Products	95. Vodafone Group, Plc.
30. Costco Wholesale Corporation	62. Microchip Technology Incorporated	96. Western Digital
31. DENTSPLY International	63. Micron Technology	97. Whole Foods Market
32. DirecTV	64. Microsoft Corporation	98. Wynn Resorts, Ltd.
	65. Mondelez International	99. Xilinx
		100. Yahoo!

1 pav. pavaizduota kaip MAE ir MSE vidurkiai priklauso nuo ARIMA parametrų p ir q , kai parametras $d = 0$.



1 pav. MAE ir MSE priklausomybė nuo ARIMA parametrų p ir q

MAE ir MSE vidurkiai pateikiami doleriais. Minimalus MAE ir MSE rezultatas pasiektas, kai $ARIMA(p,0,0)$. Šis modelis yra toks pats kaip $AR(p)$ autoregresinis modelis. Tai yra naujausios persimokymo (Bailey, et al., 2014) ir tradicinės efektyvios rinkos (Fama, 1995) teorijos rezultatas ir viena iš priežasčių, kodėl atliekant daugumą eksperimentų taikyti tik autoregresiniai modeliai. Kita priežastis yra ARIMA modelių skaičiavimo sudėtingumas, susijęs su globalia optimizacija.

3.5. PORTFOLIO modelio programinė realizacija

Kad programinę įrangą galima būtų paleisti bet kokiame kompiuteryje, reikalinga platforma, nepriklausoma nuo kompiuterio architektūros. Java programavimo kalba yra viena iš efektyviausių tokių platformų ir puikiai tinka moksliniams skaičiavimams. 2015 metais ji yra pripažinta viena iš populiariausių programavimo kalbų pagal TIOBE indeksą. Visi šie privalumai nulėmė jos pasirinkimą PORTFOLIO modeliui realizuoti.

PORTFOLIO modelio prototipas buvo internetinė sistema, skirta universitetinėms studijoms ir moksliniam bendradarbiavimui (Mockus, 2006; Mockus, 2003). Atnaujintas PORTFOLIO-2 modelis yra pasiekiamas iš Git tipo versijų kontrolės sistemos Bitbucket. Norint klonuoti programą reikia įvykdyti šią komandą:

```
git clone https://bitbucket.org/igoriochek/stock\_joana.git
```

Programos klonavimą galima atlikti tiek per komandinę eilutę, tiek naudojant bet kokią IDE, pvz., NetBeans. Šis kodas sukurs Git tipo lokalią saugyklą, kurioje bus galima dirbti su projektu: peržiūrėti programinį kodą, daryti pakeitimus, paleisti programą.

Vartotojo instrukcija, kaip įdiegti ir paleisti programą ir kaip atlikti eksperimentus, pateikta Priede A, o matematinis aprašymas yra pateiktas (Mockus, et al., 2014).

PORTFOLIO modelio tikslas yra ne prognozavimas, o simuliacija (imitacija) akcijų biržos procesų, kurie priklauso nuo rinkos dalyvių prognozių. Kelių akcijų praplėtimas ir prekybos taisyklės atspindi tiek potencialių investuotojų euristikas, tiek gerai žinomas teorines investavimo strategijas.

Tai padaro modelį realistiškesnį ir leidžia optimizuoti portfelį investavimo strategijų kontekste – tiek realioje, tiek virtualioje aplinkoje. Tai yra esminis pagerinimas lyginant su įprastais vienos akcijos modeliais su tiesiogine sąveika

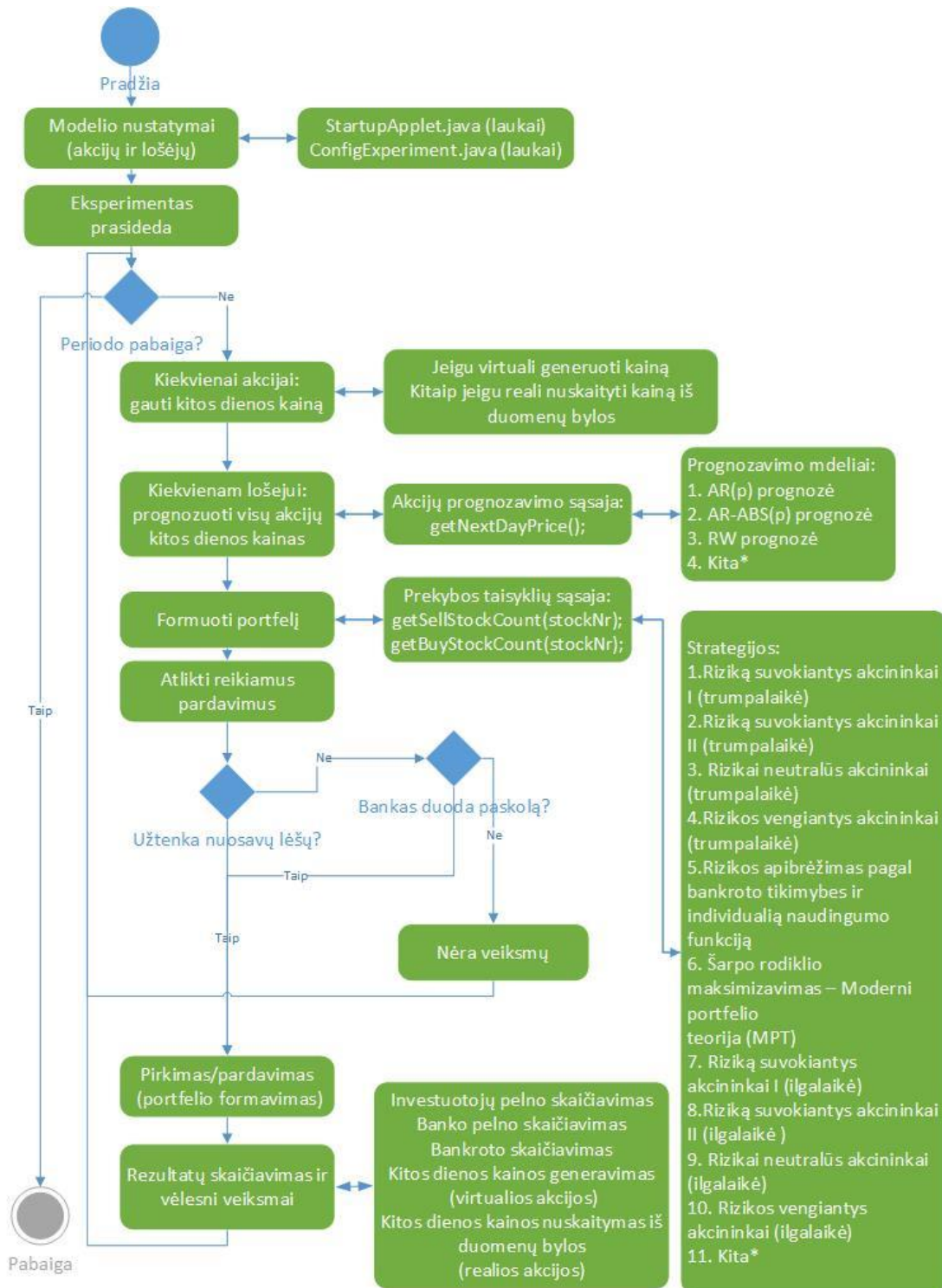
tarp investavimo agentų (rinkos dalyvių).

Modelis yra sukurtas kaip įrankis, kuris vaizduoja individualių (smulkių) dalyvių elgesį. Šie nori prognozuoti, kaip numanomas pelnas priklausys nuo įvairių investavimo taisyklių. Šiuo tikslu taikomos įvairios prognozavimo taisyklės, prognozuojančios tiek virtualių, tiek realių akcijų kainas. Manoma, kad vienintelė įmanoma informacija prognozei – tai realių akcijų istoriniai duomenys.

Optimizacija investavimo strategijų kontekste ir abiejų – tiek realių, tiek virtualių – akcijų biržų realizavimas viename modelyje yra naujos PORTFOLIO modelio ypatybės. Netikėtas rezultatas yra tas, kad minimali akcijų prognozės paklaida nebūtinai garantuoja maksimalų pelną. Todėl visa informacija pateikta šiam svarbiam rezultatui individualiai testuoti ir tikrinti. Šis rezultatas gali būti testuojamas ir tikrinamas be specialių įgūdžių ir įrangos, visos eksperimentų sąlygos yra apibrėžiamos ir lengvai kartojamos.

Modelyje skaičiuojami tiek investuotojų, tiek banko pelnai. PORTFOLIO modelis imituoja grupės investuotojų, kurie prekiauja akcijomis realioje ir virtualioje rinkoje, elgesį. Optimizavimas atliekamas daugelio investavimo strategijų kontekste. Investavimo strategijos apima prognozavimo modelius ir prekybos taisykles. Tai yra PORTFOLIO modelio ypatingas bruožas.

Naudodami šią programinę įrangą investuotojai gali pasirinkti vieną iš 190 investavimo strategijų, įskaitant 10 prekybos taisyklių ir 19 prognozavimo modelių. Trys iš šių prekybos taisyklių modeliuoja žinomus teorinius rezultatus, o kitos yra naujos ir imituoja įvairių investuotojų, turinčių įvairių požiūrių į riziką, elgesį.



2 pav. Programinės įrangos veikimo schema

Tiriant realią aplinką naudojamos populiarių tarptautinių kompanijų ankstesnės akcijų kainos. Virtualioje aplinkoje generuojamos kainos imituoja aštuonių didelių investuotojų elgesį. Atsitiktinis triukšmas atsiranda dėl imituojamos smulkių investuotojų įtakos.

Programinės įrangos struktūra suteikia galimybę praplėsti modelį: pridėti naują prognozavimo metodą ir / ar prekybos taisyklę. Didelio masto automatiniams eksperimentams taikyta MySQL duomenų bazė, naudota NetBeans kūrimo aplinka ir XAMPP webserverio įrankiai. Taigi programinė įranga gali būti naudojama, modifikuojama, testuojama ir tikrinama individualiai.

2 pav. pateikta programinės įrangos veikimo schema. Ji atspindi modelio darbo eigą ir parodo pagrindinius elementus (stambius blokus).

3.6. Trečiojo skyriaus išvados

1. Akcijų biržos modelis (virtuali akcijų rinka) pateikia 10 prekybos taisyklių, kurios atspindi skirtingus investuotojų požiūrius į riziką.
2. Virtuali akcijų rinka leidžia statistiškai įvertinti įvairių prekybos taisyklių pelnus. To neleidžia reali akcijų birža, nes dirbant realiu laiku negalima kartoti eksperimentų.
3. Mažiausios kainų prognozavimo paklaidos pasiektos taikant ARIMA(9,0,0) modelį. Šis modelis yra toks pats kaip $AR(p)$ autoregresinis modelis. Tačiau ARIMA(1,0,0), kuris, kaip žinoma, yra artimas RW (Random Walk) modeliui, tik nežymiai atsiliko. Tai visiškai atitinka tiek naujausios persimokymo, tiek tradicinės efektyvios rinkos teorijos teiginius.

4

Eksperimentiniai tyrimai

Šiame skyriuje pateikiami naujo PORTFOLIO modelio pagrindiniai eksperimentiniai rezultatai. Tyrimai buvo atliekami tiek su virtualiais, tiek su realiais duomenimis.

Tiriant realius duomenis parinkti keturi istorinių duomenų periodai, jie yra atsiunčiami PORTFOLIO modelyje tiesiogiai iš <http://finance.yahoo.com> tinklalapio. Šie keturi periodai apima:

I periodas: 364 darbo dienos nuo 2009.01.03 – ekonomikos augimo po krizės laikotarpis.

II periodas: 364 darbo dienos nuo 2012.02.07 – naujesnis, stabilesnis laikotarpis.

III periodas: 352 darbo dienos nuo 2012.07.19.

IV periodas: 364 darbo dienos nuo 2013.06.29 – šių dienų laikotarpis.

Tyrime naudoti aštuonių akcijų istoriniai duomenys: MSFT (Microsoft Corporation), AAPL (Apple Inc.), GOOG (Google Inc.), NOK (Nokia

Corporation), TM (Toyota Motor Corporation), BAC (Bank of America Corporation), BA (The Boeing Company), ORCL (Oracle Corporation).

Virtualiu režimu generuotos akcijų kainos imituoja aštuonių virtualių investuotojų pirkimo ir pardavimo elgesį. Pradinės kainos nustatomos modeliavimo pradžioje, o kitos dienos kainos generuojamos jas imituojant. Buvo fiksuoti 100 individualių atvejų vidutiniai rezultatai.

Realizuota 10 prekybos taisyklių, tarp jų 4 trumpalaikės ir 6 ilgalaikės taisyklės. Skirtingos taisyklės atspindi skirtingą požiūrį į riziką. Be to, prekybos strategija yra apibrėžiama kaip prekybos taisyklės (PT) ir prognozavimo modelio, kurį taiko taisyklė, pora. Taikyti paprasti auroregresiniai modeliai. Jie skiriasi atminties parametru p ir pritaikymo metodu. Pastarieji ištirti du: įprastas mažiausiųjų kvadratų metodas, vadinamas AR, ir absoliučiuųjų nuokrypių minimizavimo metodas, vadinamas AR-ABS. Be to, realizuotas atsitiktinio klaidžiojimo (angl. *Random Walk*, RW) modelis.

Nustatant p reikšmę nuo 1 iki 9 gali būti ištirta aštuoniolika skirtingų prognozavimo modelių. 19-tas modelis yra RW. Taigi realizuota 190 skirtingų prekybos strategijų. Akcijų biržos modelis yra atviras ir suteikia galimybę papildyti strategijų sąrašą kitomis prekybos taisyklėmis ir prognozavimo metodais. Šiame darbe iš 190 prekybos strategijų tirta 90.

Daugiau informacijos pateikta I periodo ir virtualios rinkos aprašyme. Augimo tendencija yra būdinga tiek virtualiai rinkai, tiek realios rinkos I periodui. Stabilesnių II ir III periodų indėlis atsispindi visų trijų laikotarpių vidutinių rezultatų aprašyme.

4.1. Realių akcijų tyrimas

Šiame skyriuje aptarsime eksperimentą su I periodo istoriniais duomenimis. Šis periodas atspindi ekonomikos ir finansų veiklos atsigavimą pokriziniu

laikotarpiu.

2 lentelėje pateikti geriausi portfeliai, gauti pritaikius dešimt prekybos taisyklių ir aštuonis prognozavimo metodus. Pelningiausias portfelis (1937,03) gautas su strategija PT1, AR(6). Šis portfelis susideda iš BAC akcijų. BAC akcijos taip pat davė dar keturis kitus pelningus portfelius. Viena iš priežasčių – greitas BAC akcijų kainų atsigavimas pokriziniu laikotarpiu. Kita priežastis – mažesnė diversifikacija, nes PT1 palyginti su kitomis šiame tyrime taikomomis prekybos taisyklėmis yra rizikingesnė. Su MSFT, AAPL ir ORCL akcijomis taip pat gauti pelningi portfeliai, tačiau jų pelnas gerokai mažesnis. Didžiausia vidutinė absoliutinė paklaida (MAE) gauta taikant AR(9) prognozavimo modelį, o didžiausia vidutinė standartinė paklaida (MSE) gauta taikant AR(6) modelį. Visi AR-ABS modeliai davė labai panašias paklaidas į minimalias paklaidas, gautas su AR(1) modeliu. Tai galima paaiškinti AR-ABS modelių „silpnėsiu mokymusi“, kai minimizuojamos absoliutinės, o ne kvadratinės paklaidos. Tačiau šiame etape AR-ABS(6) modelis, su kuriuo gaunamos minimalioms artimos prognozavimo paklaidos, davė tik nuostolius.

Pelno ir prognozavimo paklaidų palyginimas rodo, kad minimalios prognozavimo paklaidos nebūtinai duoda maksimalų pelną. Šiuo atveju maksimalus pelnas pasiektas su AR(6) modeliu, kurio prognozavimo paklaida yra artima maksimaliai. Šią galimybę patvirtina ir teigiamos pelno ir prognozavimo paklaidų koreliacijos.

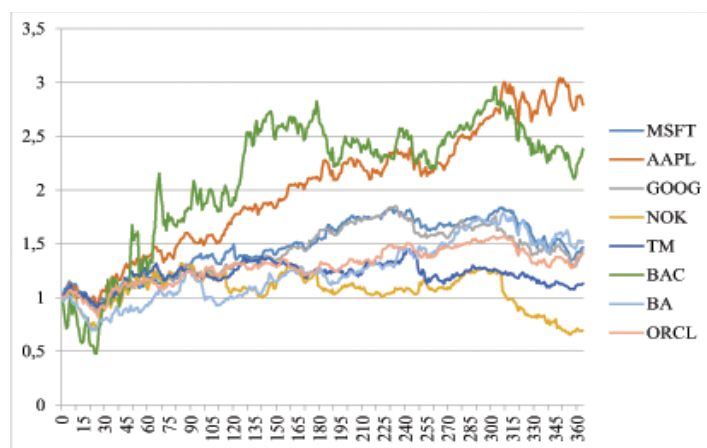
2 lentelė Dešimties prekybos taisyklių vidutiniai portfeliai, reali akcijų birža

	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8	PT9	PT10
	AR(6)	AR-ABS(1)	AR(6)	AR-ABS(9)	AR-ABS(3)	AR-ABS(3)	AR(6)	AR(6)	AR(1)	AR(6)
MSFT	37,68	25,39	50,23	193,31	5,51	3,58	5,82	1,88	0,00	2,78
AAPL	0,66	86,86	24,41	49,24	0,27	0,40	0,69	0,64	3,14	1,41
GOOG	0,36	0,00	2,00	3,28	0,04	0,23	0,01	1,15	0,25	0,37
NOK	7,24	0,05	121,13	25,42	0,23	0,46	7,38	1,96	0,00	1,78

4. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

TM	1,28	0,00	9,38	2,81	0,01	0,10	0,57	0,67	0,62	1,02
BAC	1937,03	5,84	495,88	64,83	7,68	3,06	14,68	4,23	0,25	2,45
BAC	1,14	0,01	24,96	12,33	0,03	0,16	0,25	0,43	0,17	0,86
ORCL	43,43	0,09	43,41	10,77	4,10	2,64	9,22	1,08	0,00	3,22
Vidurkis	253,60	14,78	96,43	45,25	2,23	1,33	4,83	1,51	0,55	1,74

3 pav. vaizduojama akcijų kainų augimo tendencija pokrizinėmis ekonomikos sąlygomis. Įdomus faktas, kad panaši augimo tendencija matyti ir kai akcijų kainos generuojamos virtualioje akcijų biržoje (žr. 5 pav.).

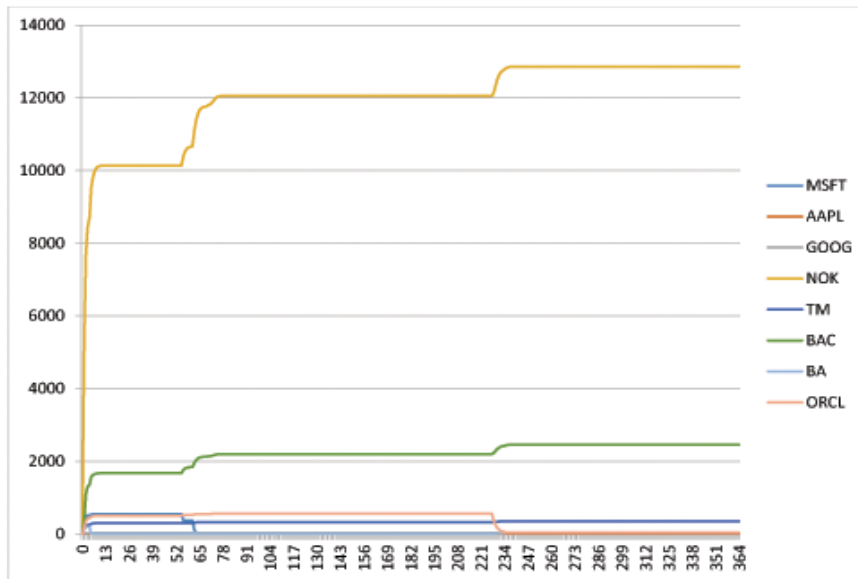


3 pav. Aštuonių akcijų dieninės kainos, reali akcijų birža, I periodas

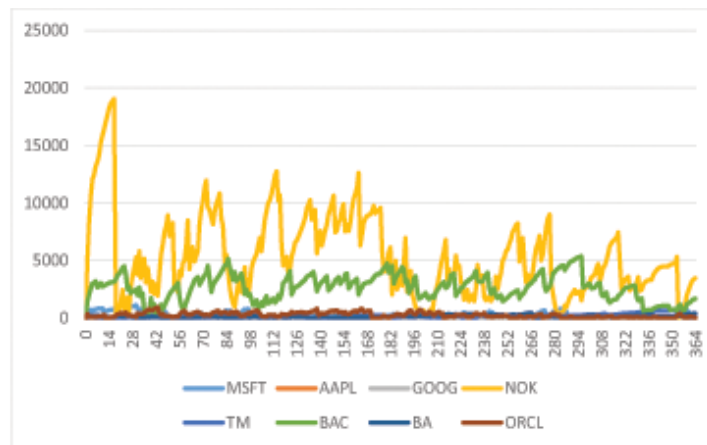
Taikant rizikingiausią PT1 ir skirtingus prognozavimo modelius, investuotojai teikia pirmenybę BAC ir AAPL akcijoms. Kitomis akcijomis prekiauta mažiau. Pirmu periodu didžiausias pelnas gautas taikant AR(6) prognozavimo modelį su dažniausiai tik vienos BAC akcijos portfeliu.

4 pav. vaizduojama, kaip keičiasi portfelis taikant PT4 ir prognozavimo modelį AR(1). 5 pav. vaizduojama, kaip keičiasi portfelis taikant PT4 ir prognozavimo modelį AR(9). Lyginant 4 ir 5 pav. galime matyti, kad taikant AR(9) prognozavimo modelį prekyba yra nereguliari ir skiriasi nuo nejautesnio AR(1) modelio prekybos šablono. AR(9) modelio vidutinis pelnas yra 4637,71, o AR(1) modelio vidutinis pelnas – 5579,59. Galimas AR(9) modeliu gauto mažesnio pelno paaiškinimas yra didesnė transakcijos kaina dėl

dažnų pirkimo ir pardavimo operacijų. Tai parodo, kad trumpalaikiam investavimui prognozavimo stabilumas yra svarbus veiksnys.



4 pav. Portfelio pokyčiai realioje akcijų biržoje, taikant PT4 ir AR(1), I periodas



5 pav. Portfelio pokyčiai realioje akcijų biržoje, taikant PT4 ir AR(9), I periodas

4.2. Virtualių akcijų tyrimas

Šiame skyriuje pateikiami virtualios akcijų biržos eksperimentai taikant keturias trumpalaikes prekybos taisykles. Didžiausias pelnas gautas taikant strategiją PT3 ir AR(9), o didžiausi nuostoliai patirti taikant strategiją PT1 ir

AR-ABS(3).

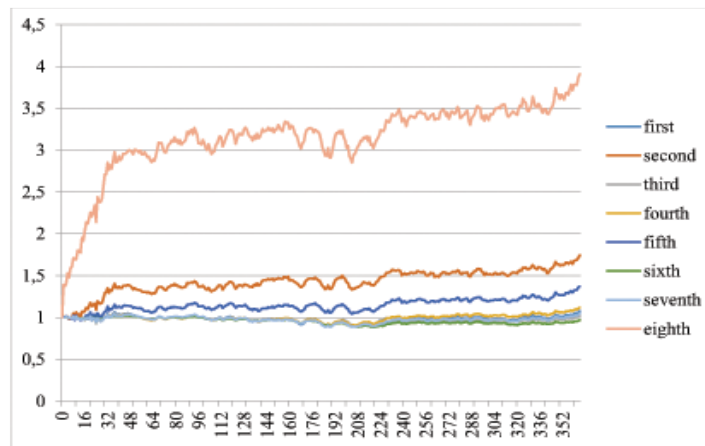
Didžiausios paklaidos gautos taikant AR(6) ir AR(9) modelius, kaip ir realiame pavyzdyje. Tai rodo, kad ir virtualioje aplinkoje paprastais modeliais gaunamos mažesnės paklaidos.

3 lentelėje pateikti keturių prognozavimo modelių ir keturių prekybos taisyklių vidutiniai portfeliai. Visuose portfeliuose yra įtrauktos visos akcijos, tačiau populiariausios yra antra ir aštunta.

3 lentelė Keturių prekybos taisyklių vidutiniai portfeliai virtualioje akcijų biržoje

	PT1	PT2	PT3	PT4
	AR(6)	AR(6)	AR(9)	AR(3)
pirma	256,00	82,00	208,00	398,00
antra	1889,00	471,00	1518,00	663,00
trečia	23,00	73,00	57,00	58,00
ketvirta	2,00	84,00	47,00	629,00
penkta	98,00	630,00	313,00	482,00
šešta	565,00	48,00	91,00	9,00
septinta	125,00	171,00	68,00	493,00
aštunta	1338,00	540,00	1326,00	1238,00
vidurkis	<i>537,00</i>	<i>262,38</i>	<i>453,50</i>	<i>496,25</i>

6 pav. pateikiamos aštuonių skirtingų akcijų normalizuotos dienos vidutinės kainos virtualioje akcijų biržoje taikant PT1. Lyginant 6 pav. su istorinėmis kainomis pokriziniu laikotarpiu (žr. 3 pav.), matyti tam tikrų panašumų.



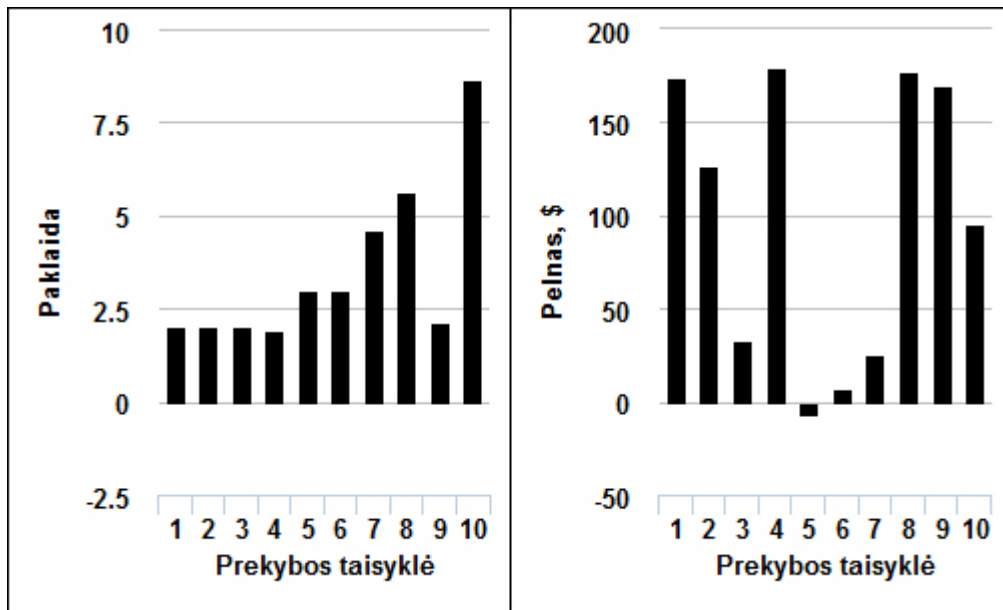
6 pav. Aštuonių skirtingų akcijų normalizuotos vidutinės kainos taikant PTI, virtuali akcijų birža

4.3. Realių ir virtualių akcijų tyrimas – vidutiniai rezultatai

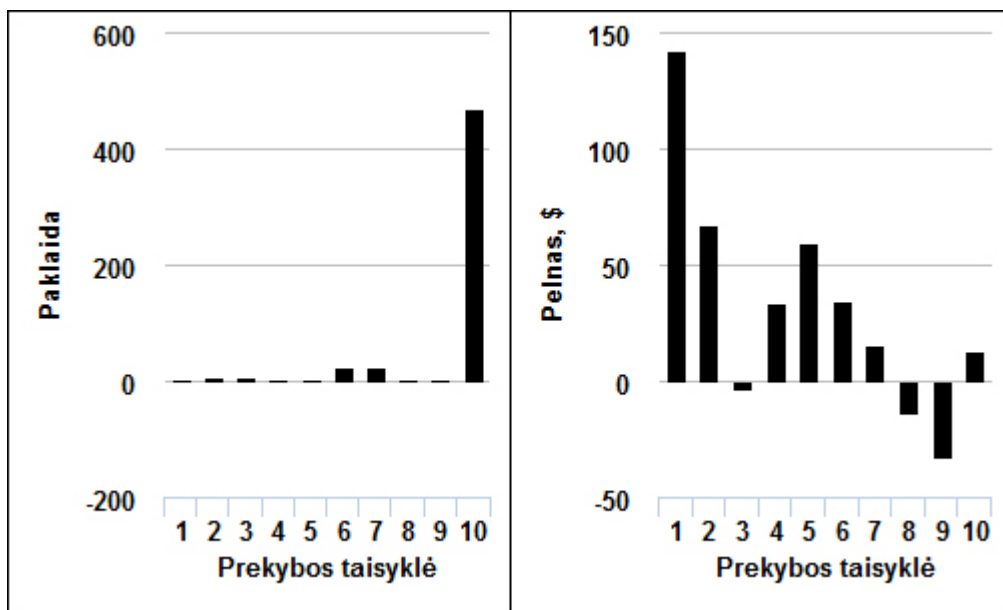
Bendram nedetaliai vaizdui pamatyti pateikiami kiekvieno atitinkamo periodo ir virtualios akcijų biržos vidutiniai pelnų ir prognozavimo paklaidų rezultatai. Vaizdinis palyginimas nerodo akivaizdžios teigiamos ar neigiamos portfelio pelno priklausomybės nuo prognozavimo paklaidų. Tai išryškėja tik 4.6. ir 4.7. skyriuose.

7 pav. vaizduojami I periodo dešimties prekybos taisyklių vidutiniai pelnai ir prognozavimo paklaidos.

8 pav. vaizduojami II periodo dešimties prekybos taisyklių vidutiniai pelnai ir prognozavimo paklaidos.



7 pav. Dešimties prekybos taisyklių vidutiniai pelnai ir prognozavimo paklaidos, I periodas

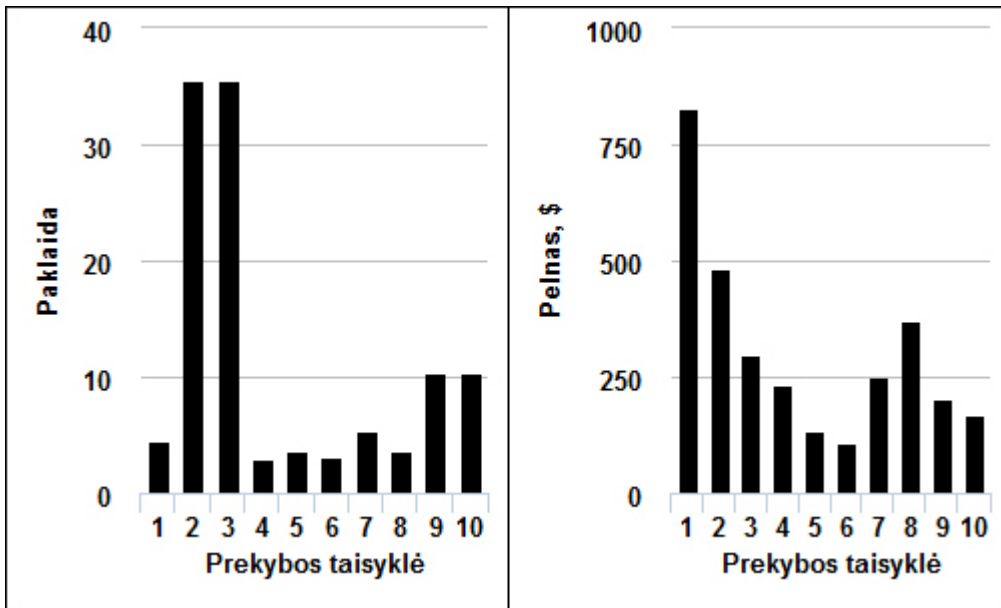


8 pav. Dešimties prekybos taisyklių vidutiniai pelnai ir prognozavimo paklaidos, II periodas

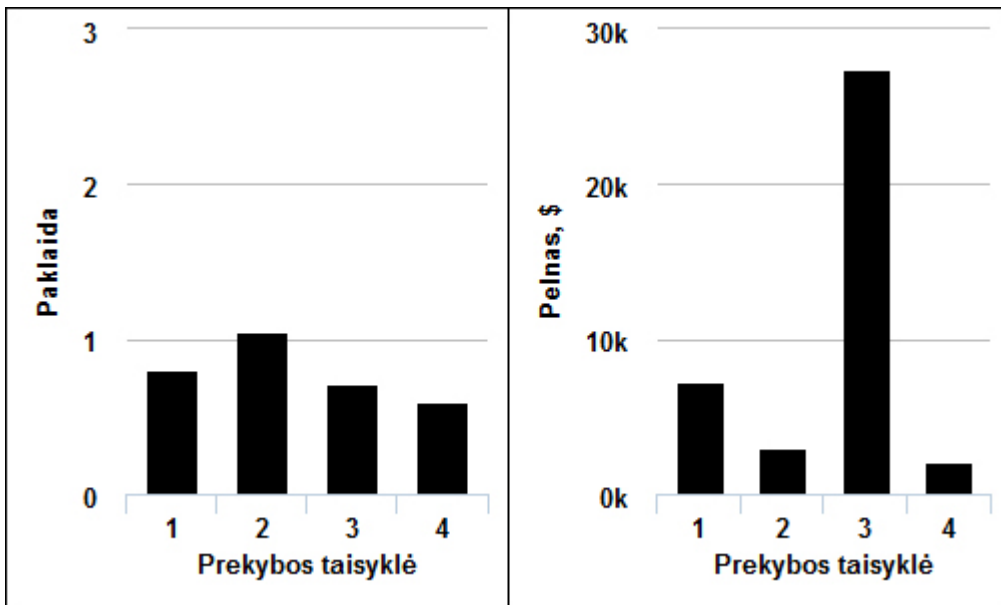
9 pav. vaizduojami III periodo dešimties prekybos taisyklių vidutiniai pelnai ir prognozavimo paklaidos.

10 pav. vaizduojami virtualios akcijų biržos keturių prekybos taisyklių

vidutiniai pelnai ir prognozavimo paklaidos.



9 pav. Dešimties prekybos taisyklių vidutiniai pelnai ir prognozavimo paklaidos, III periodas

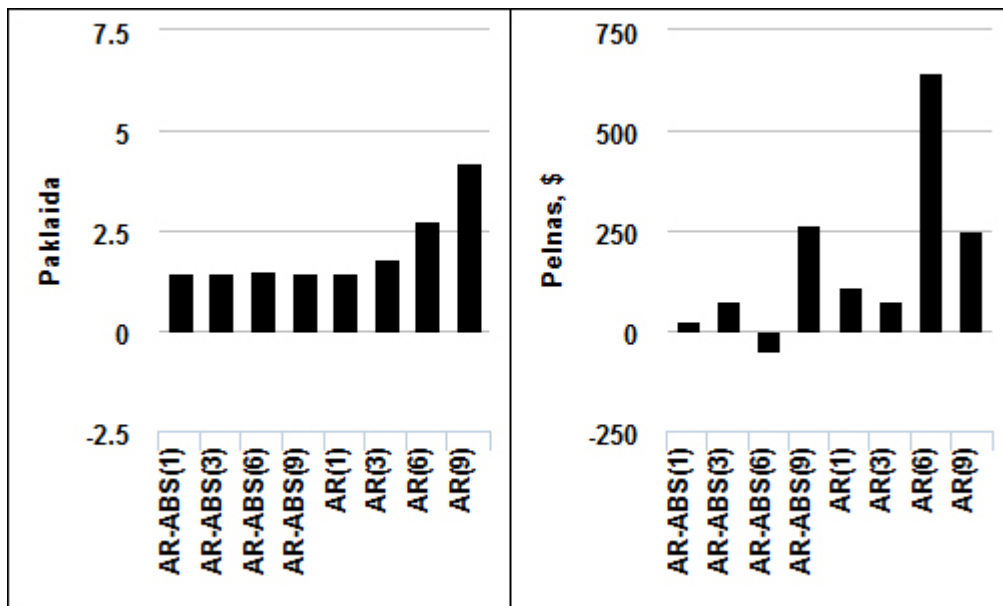


10 pav. Keturių prekybos taisyklių vidutiniai pelnai ir prognozavimo paklaidos, virtuali akcijų birža

4.4. Realių akcijų tyrimas – detalus palyginimas

11–40 pav. yra parinkti, kad parodytų portfelio pelnų ir akcijų kainų prognozavimo paklaidų priklausomybę. Nėra vienodo dėsningumo, todėl toliaupateikiamos diagramos su minimaliais komentarais, kad leistų apžvelgti ir tiesiogiai įvertinti eksperimentinius rezultatus. Diagramose pateikiami skirtingų prognozavimo modelių normalizuoti pelnai ir prognozavimo paklaidos.

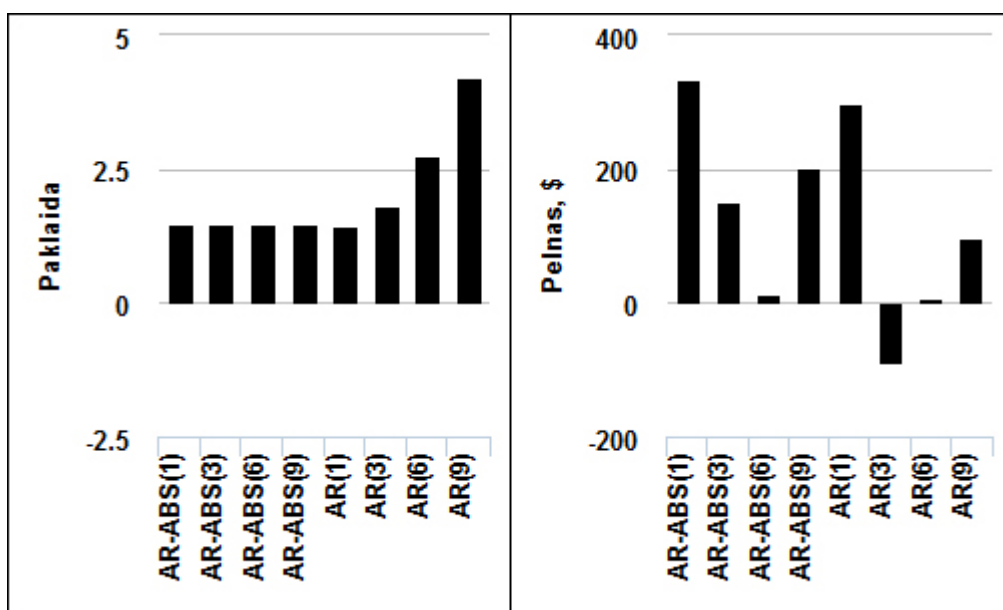
11 pav. vaizduojami I periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT1.



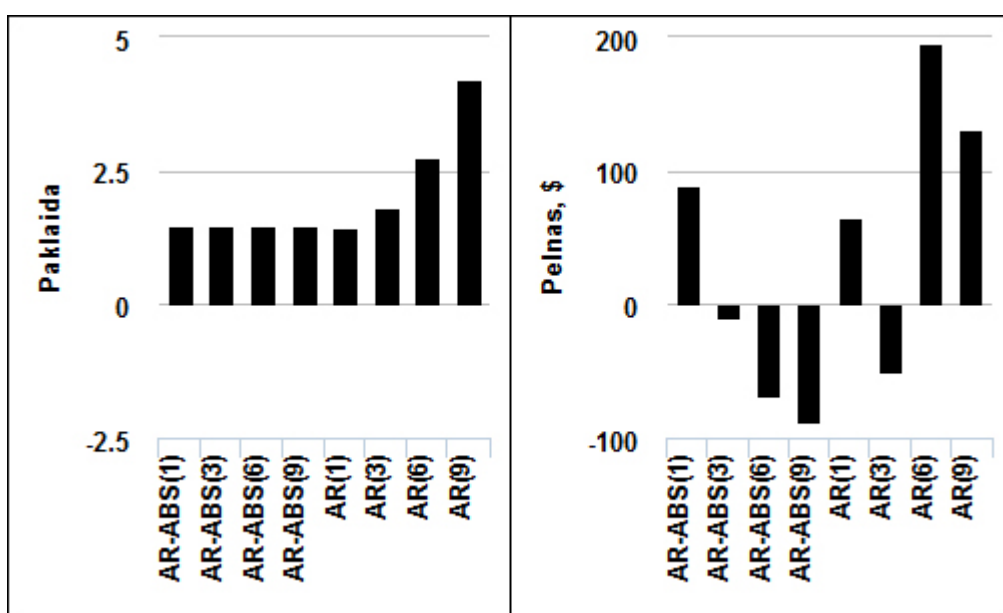
11 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT1, I periodas

12 pav. vaizduojami I periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT2.

13 pav. vaizduojami I periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT3.



12 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT2, I periodas

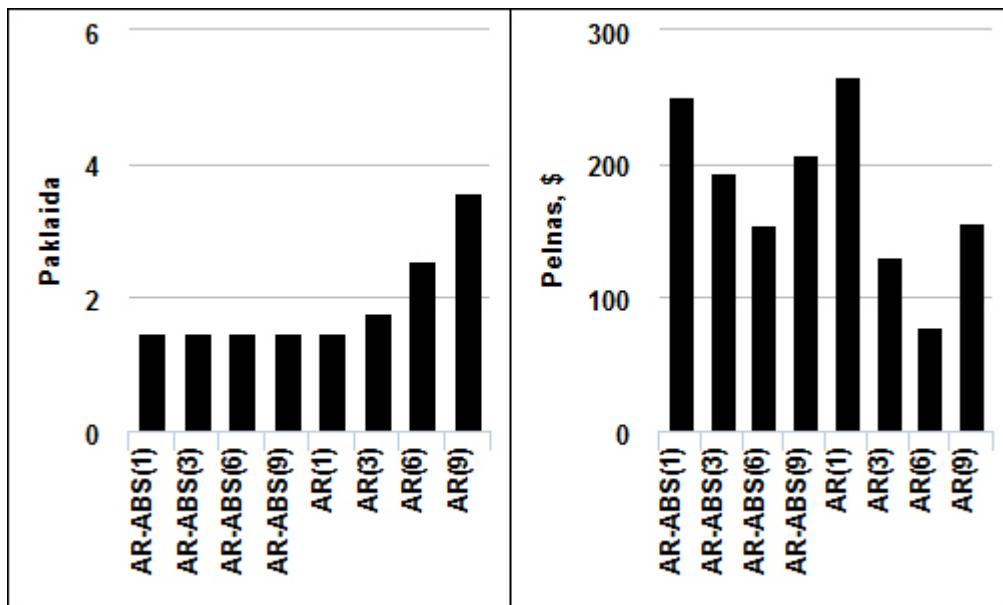


13 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT3, I periodas

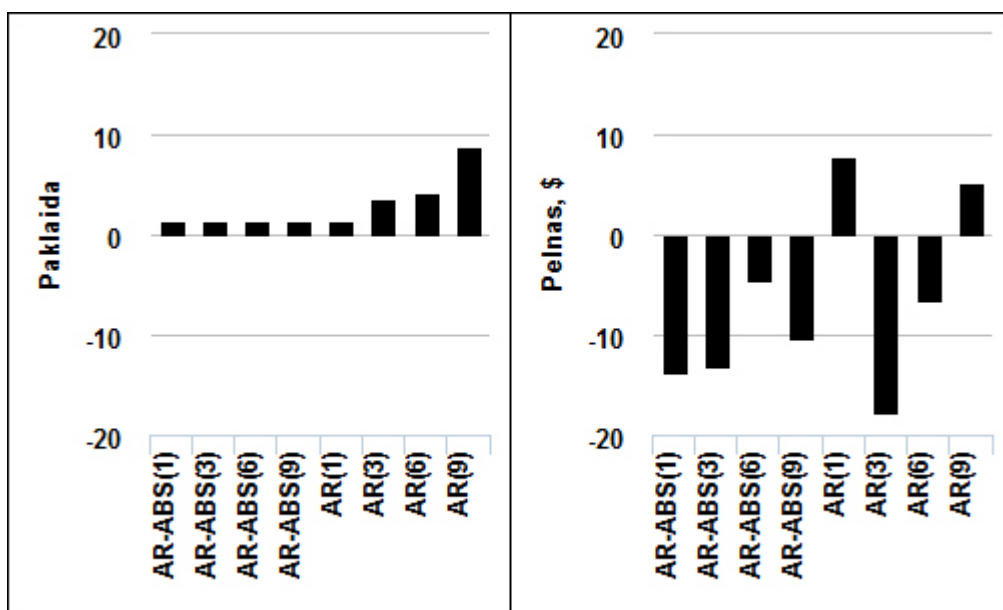
14 pav. vaizduojami I periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT4.

15 pav. vaizduojami I periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir

progozavimo paklaidos taikant PT5.



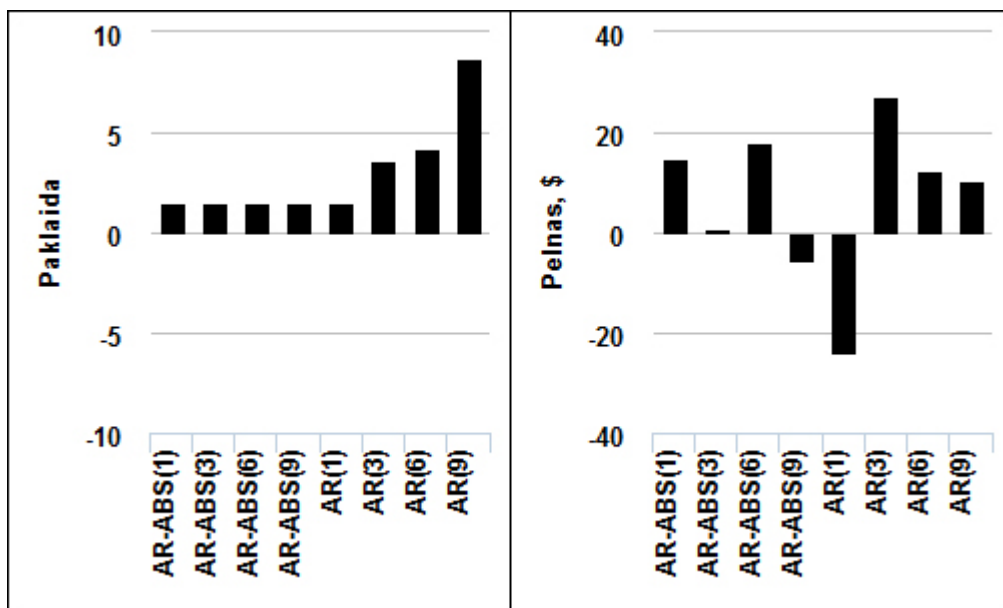
14 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT4, I periodas



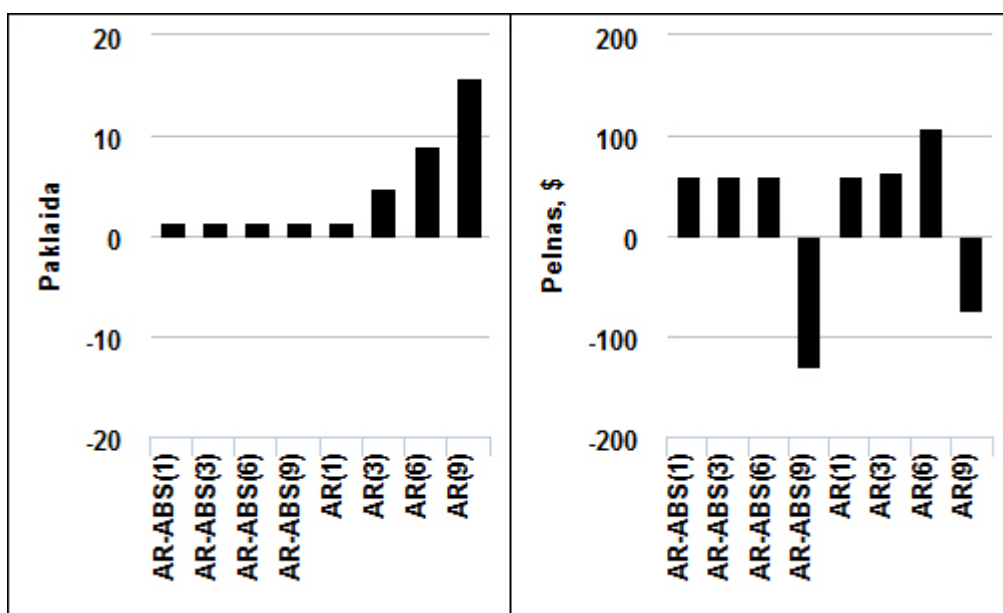
15 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT5, I periodas

16 pav. vaizduojami I periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT6.

17 pav. vaizduojami I periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT7.



16 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT6, I periodas

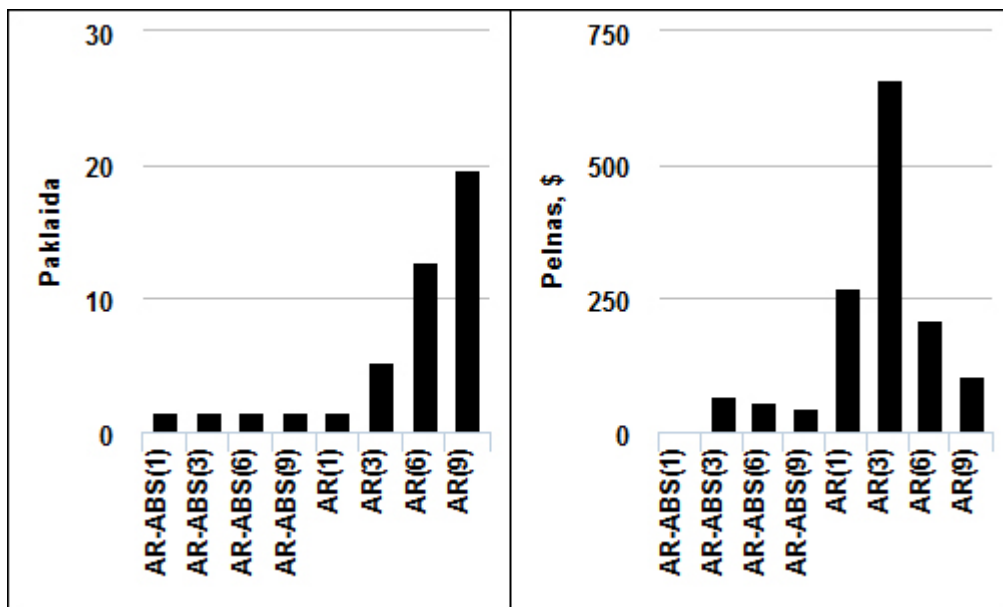


17 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT7, I periodas

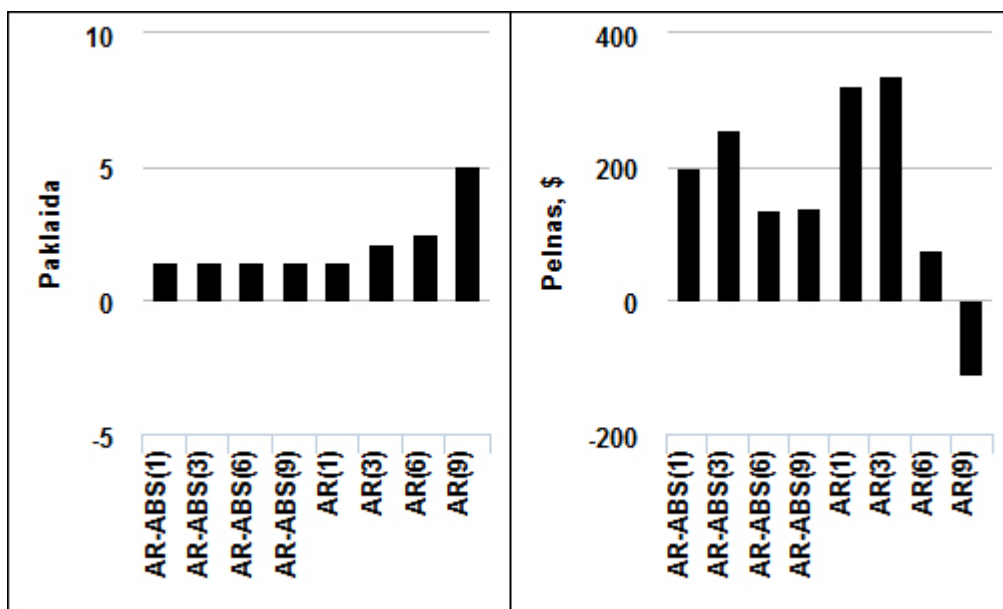
18 pav. vaizduojami I periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir

prognozavimo paklaidos taikant PT8.

19 pav. vaizduojami I periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT9.

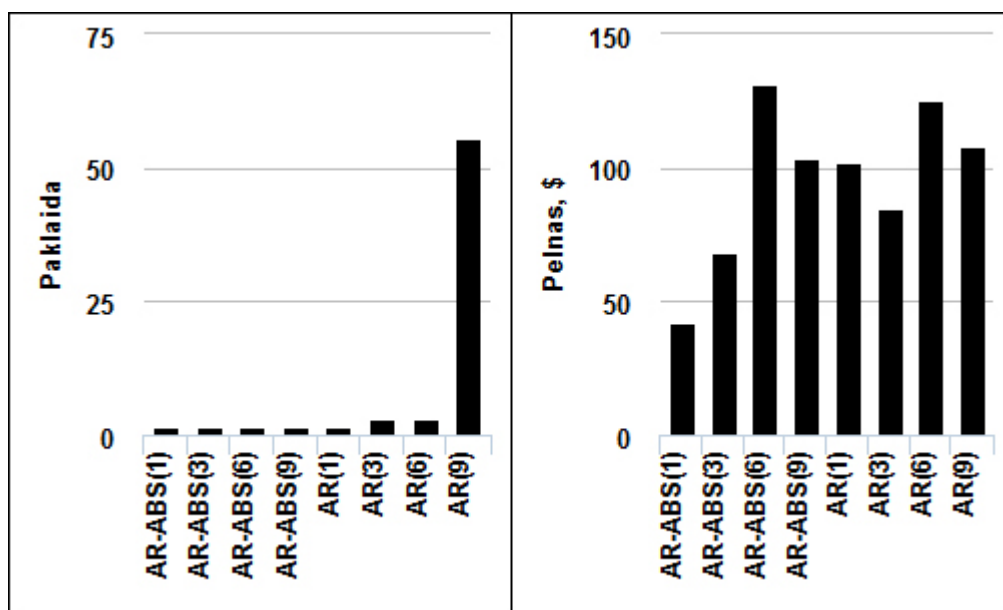


18 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT8, I periodas



19 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT9, I periodas

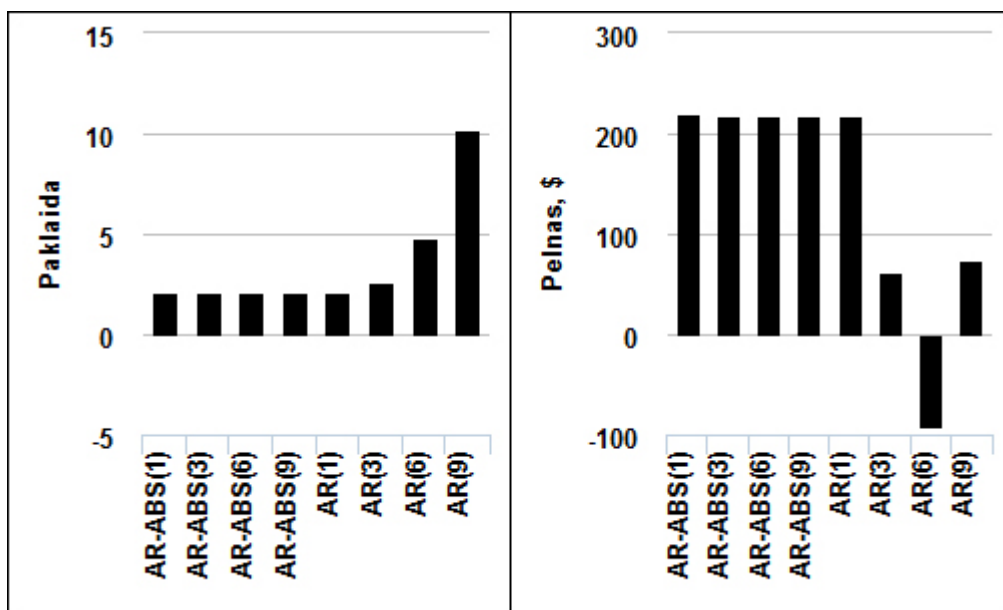
20 pav. vaizduojami I periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT10.



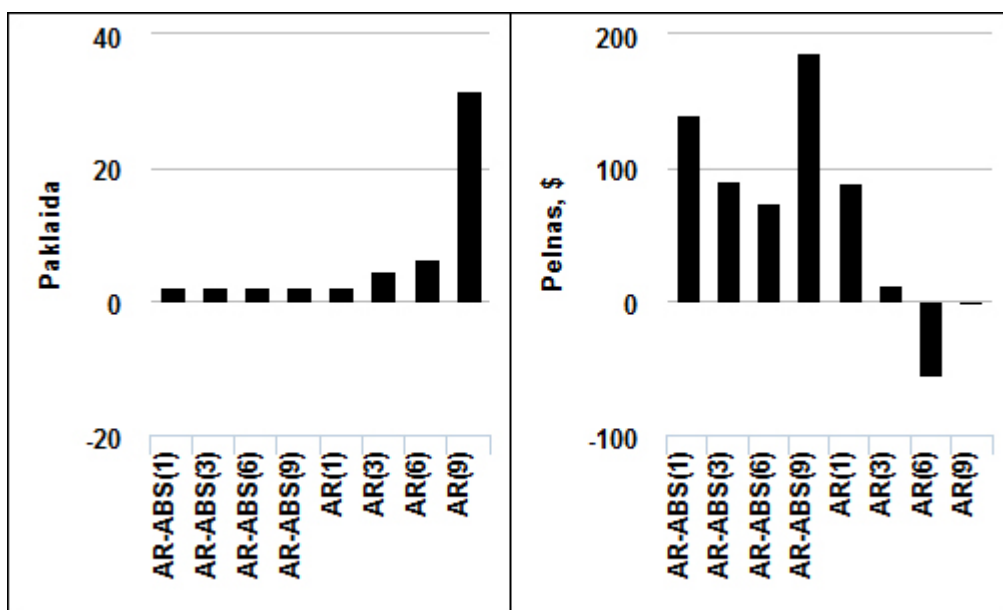
20 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT10, I periodas

21 pav. vaizduojami II periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT1.

22 pav. vaizduojami II periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT2.



21 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT1, II periodas

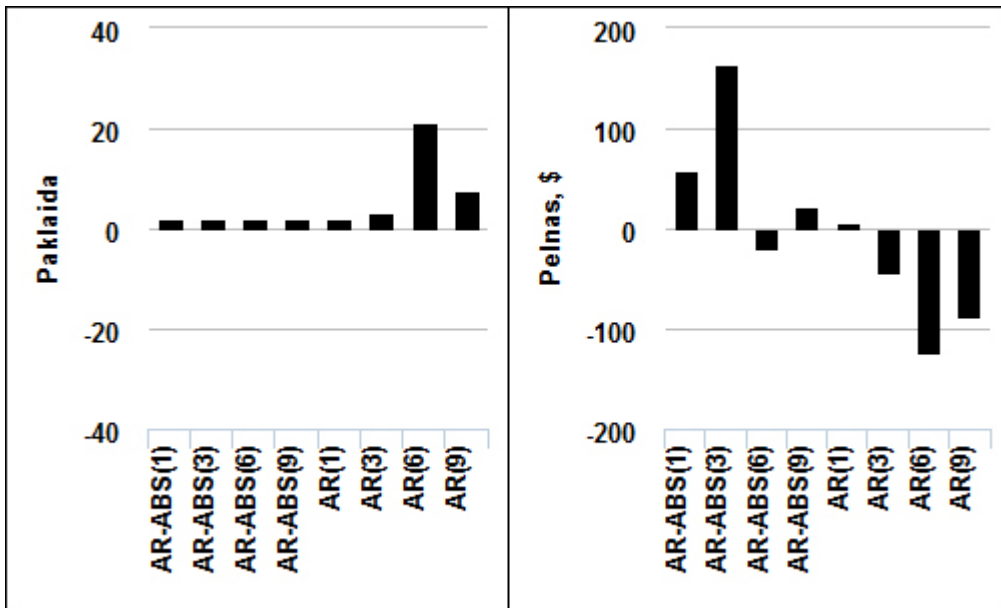


22 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT2, II periodas

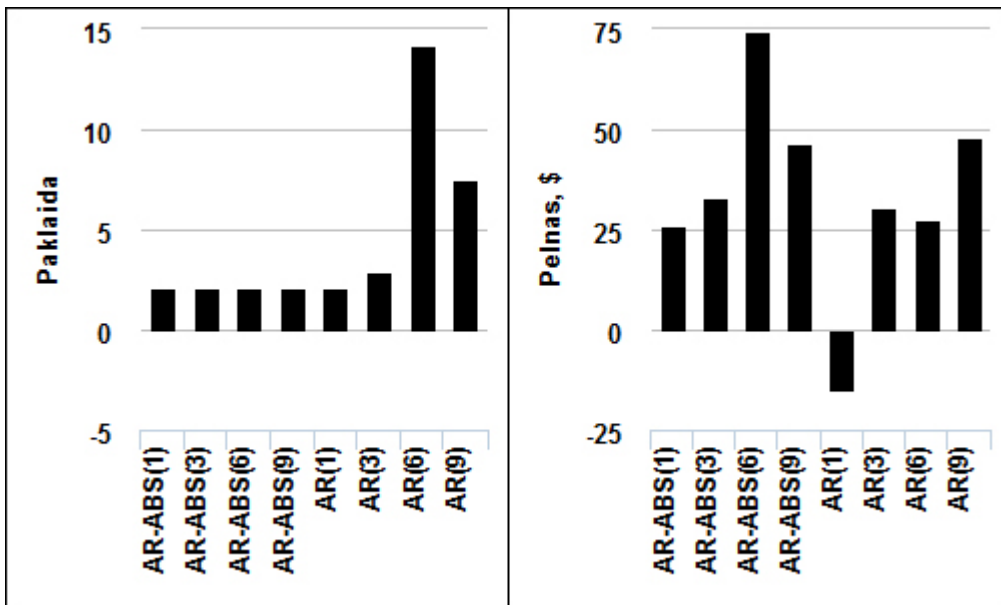
23 pav. vaizduojami II periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT3.

24 pav. vaizduojami II periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir

prognozavimo paklaidos taikant PT3.



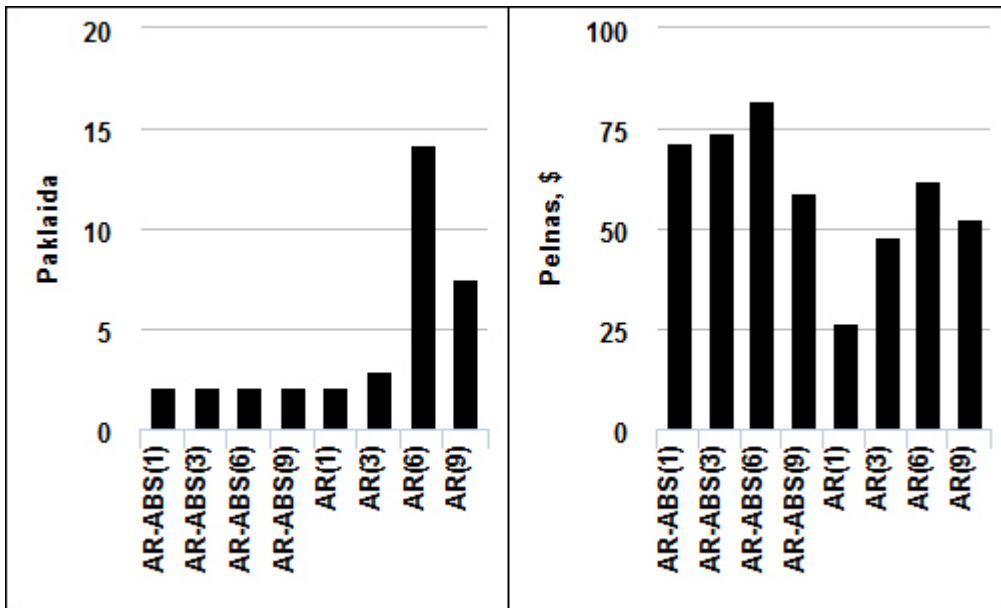
23 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT3, II periodas



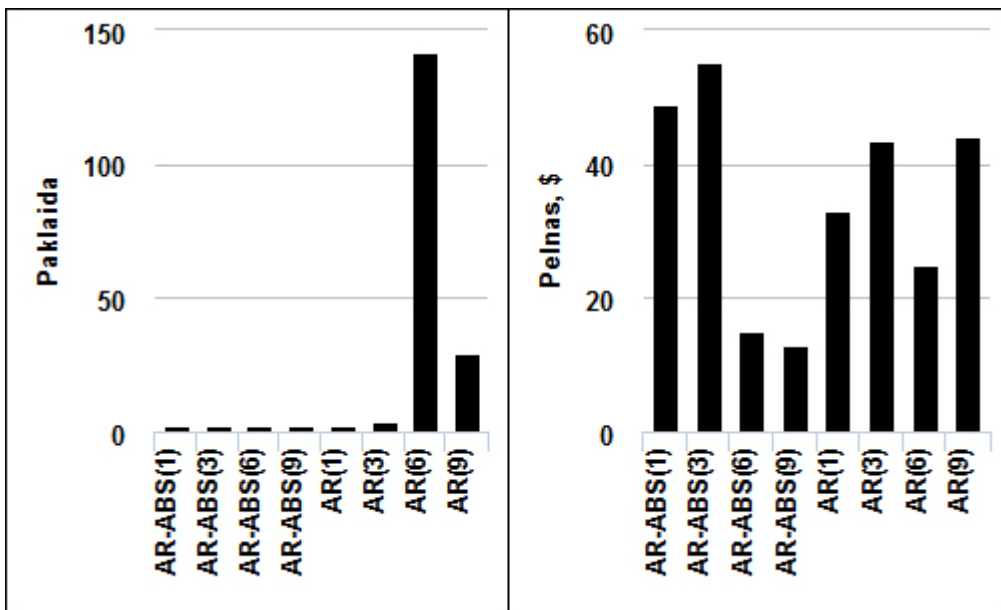
24 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT4, II periodas

25 pav. vaizduojami II periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT5.

26 pav. vaizduojami II periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT6.



25 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT5, II periodas

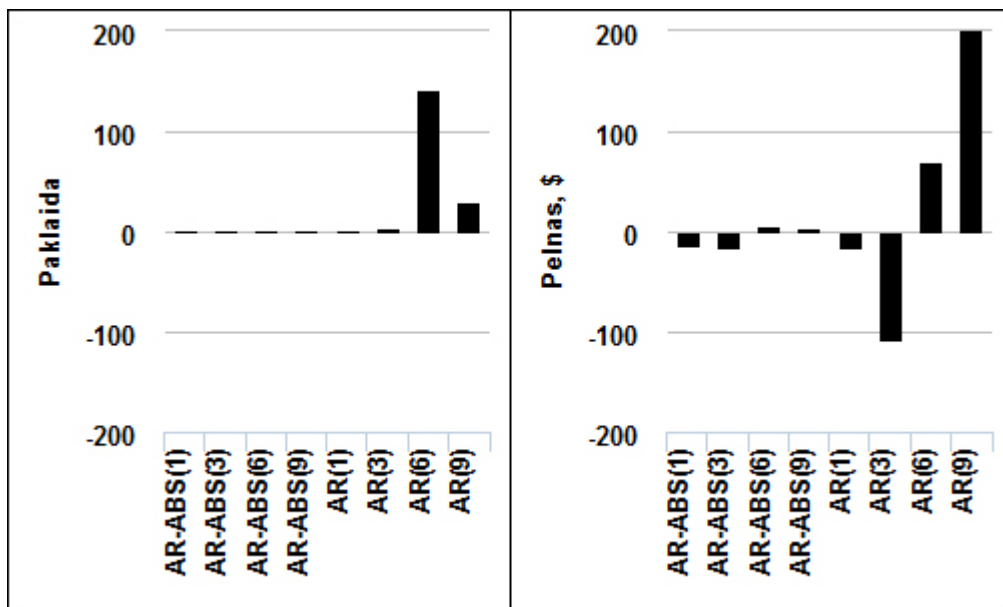


26 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT6, II periodas

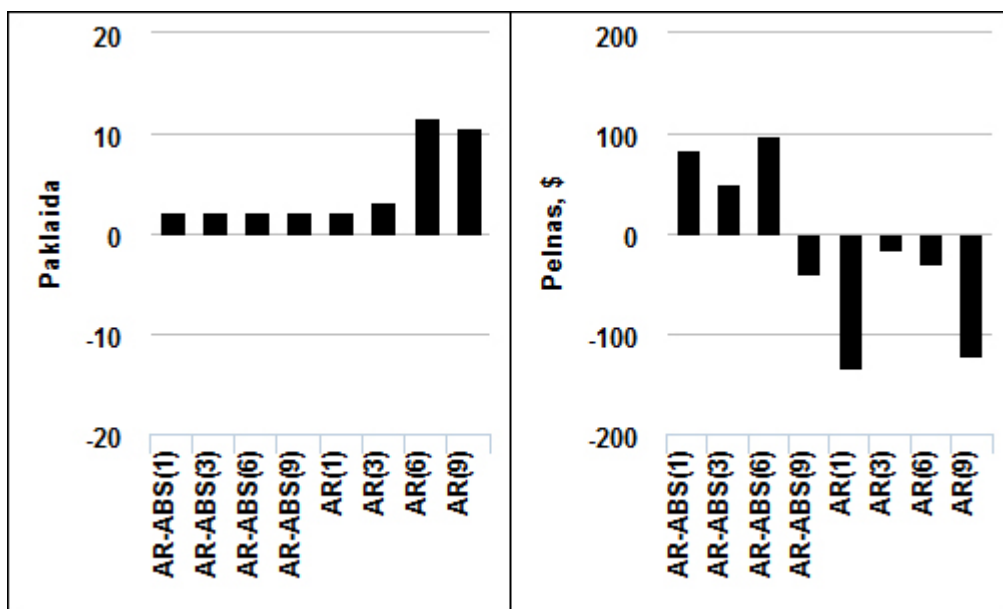
27 pav. vaizduojami II periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir

prognozavimo paklaidos taikant PT7.

28 pav. vaizduojami II periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT8.

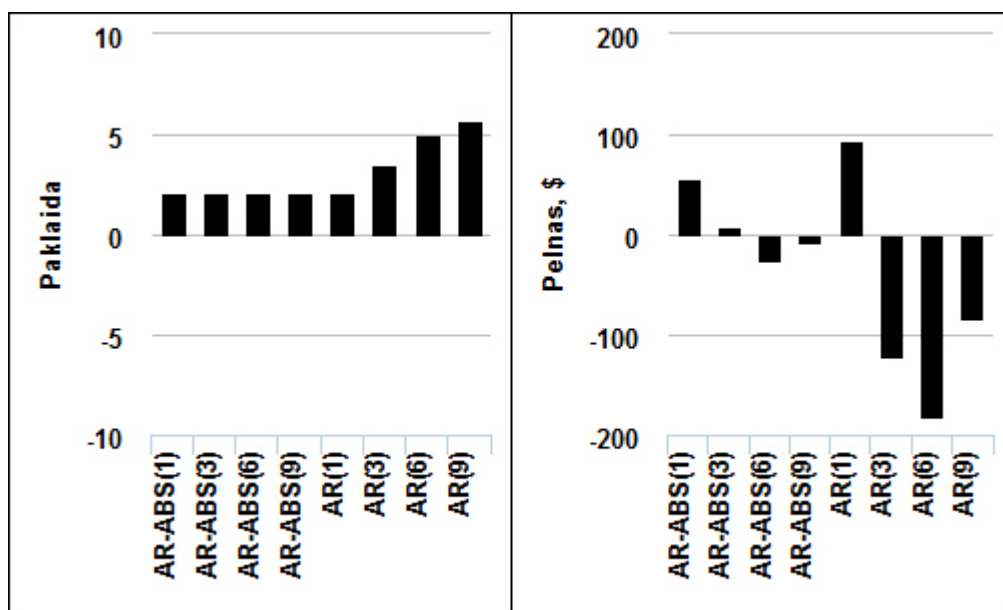


27 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT7, II periodas



28 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT8, II periodas

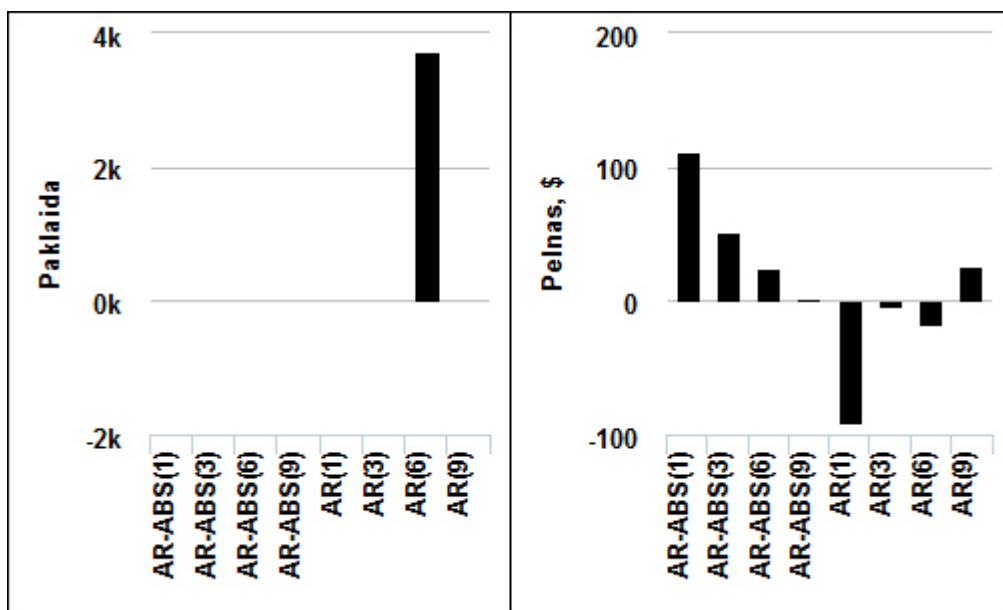
29 pav. vaizduojami II periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT9.



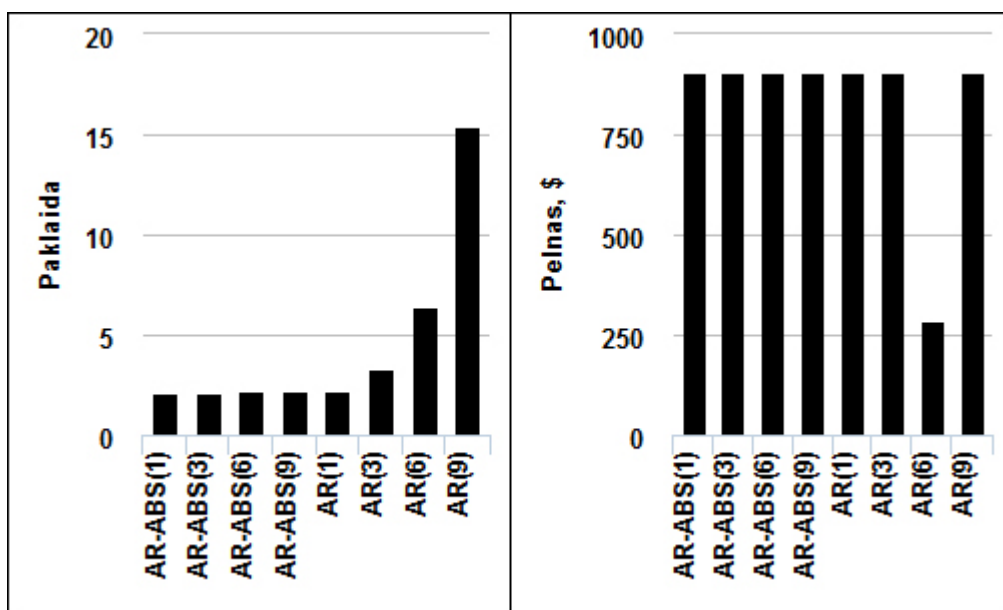
29 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT9, II periodas

30 pav. vaizduojami II periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT10.

31 pav. vaizduojami III periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT1.



30 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT10, II periodas

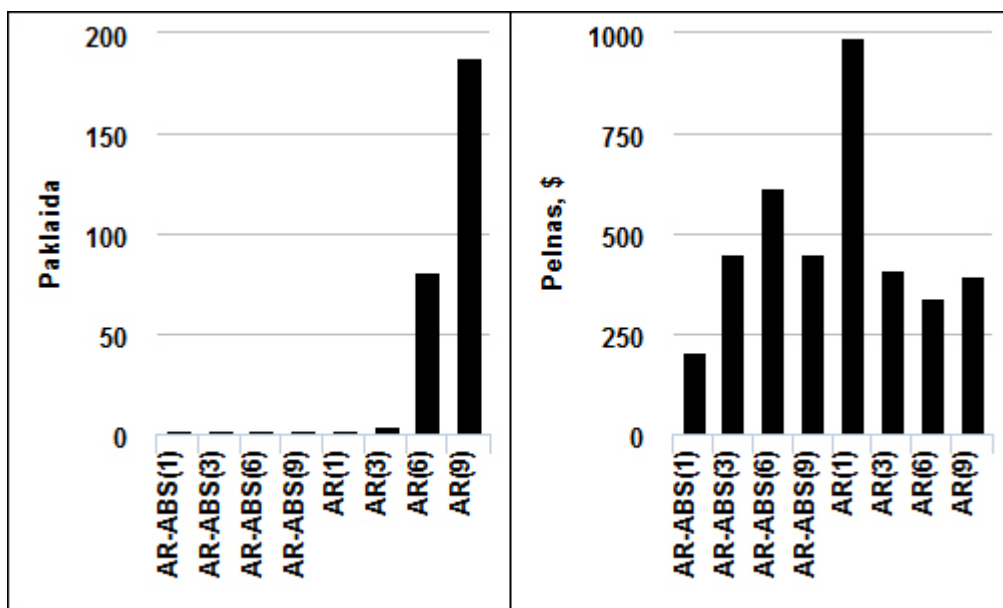


31 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT1, III periodas

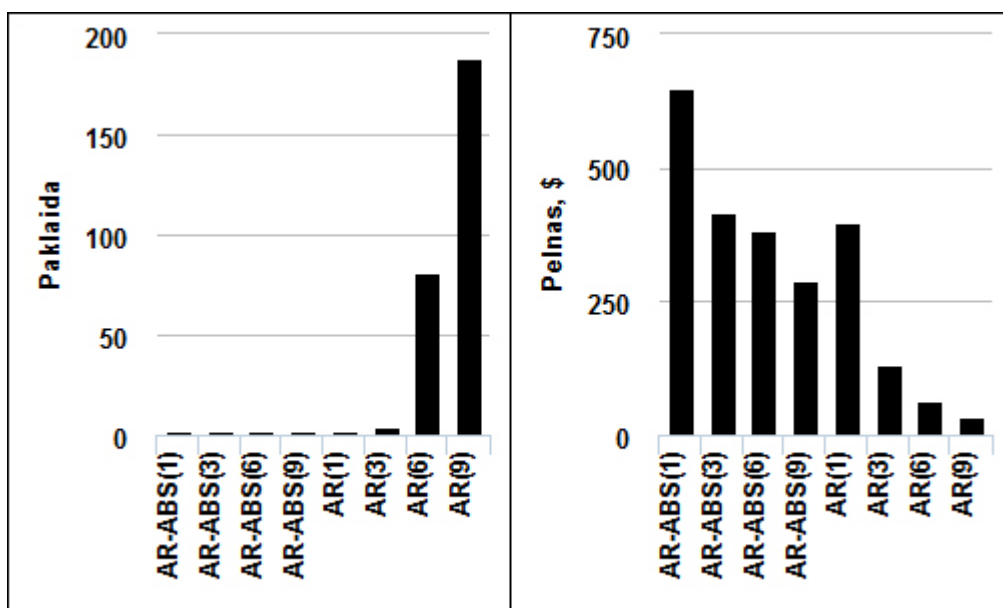
32 pav. vaizduojami III periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT2.

33 pav. vaizduojami III periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir

progozavimo paklaidos taikant PT3.



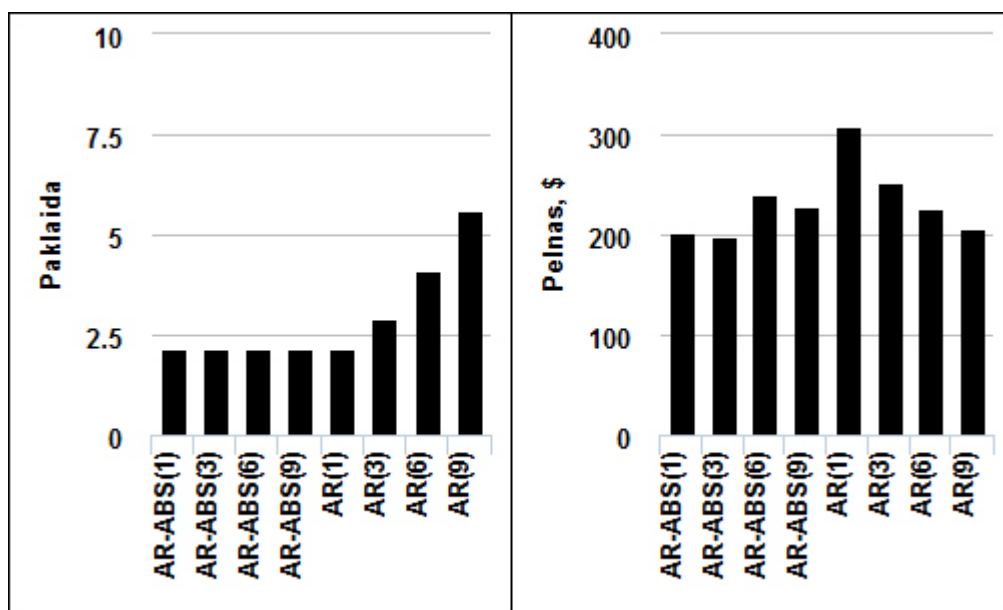
32 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT2, III periodas



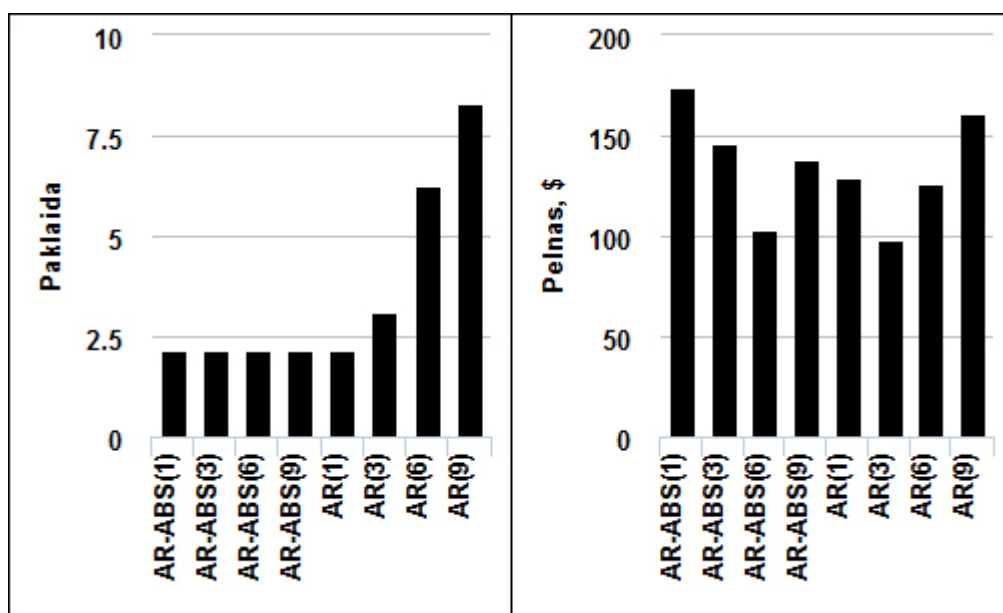
33 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT3, III periodas

34 pav. vaizduojami III periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT4.

35 pav. vaizduojami III laikotarpio skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT5.



34 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT4, III periodas

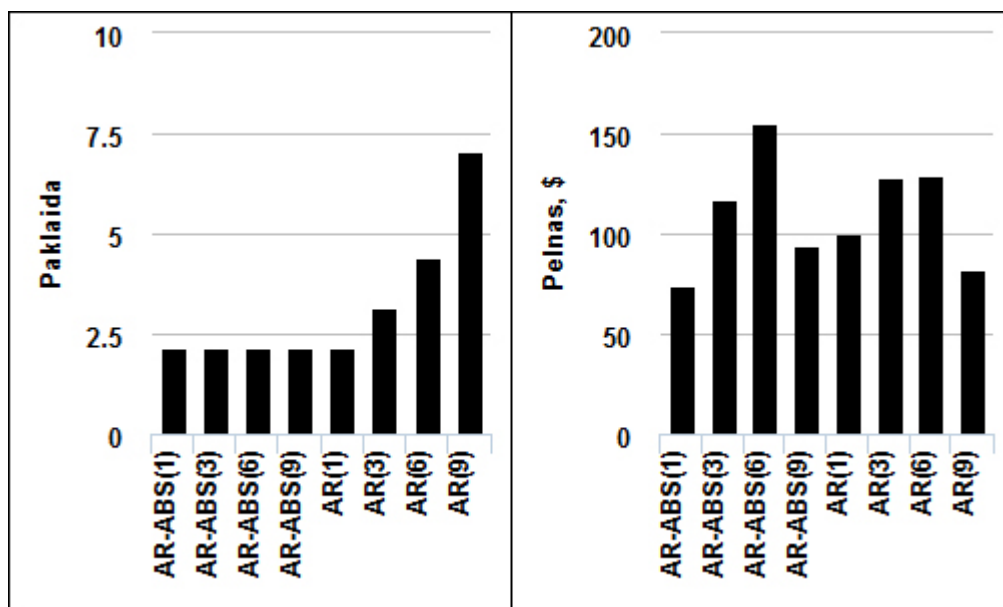


35 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT5, III periodas

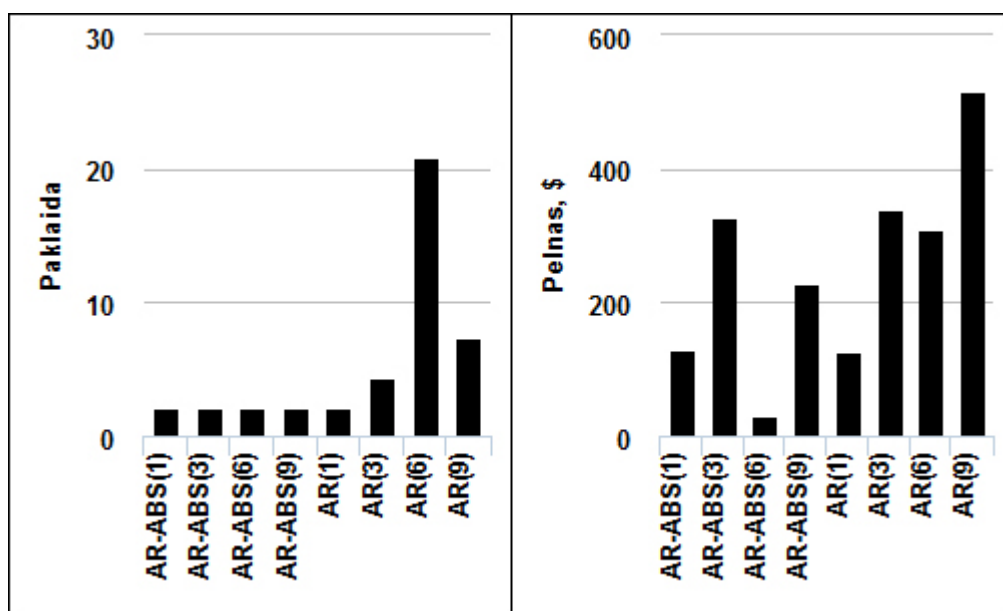
36 pav. vaizduojami III periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir

prognozavimo paklaidos taikant PT6.

37 pav. vaizduojami III periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT7.

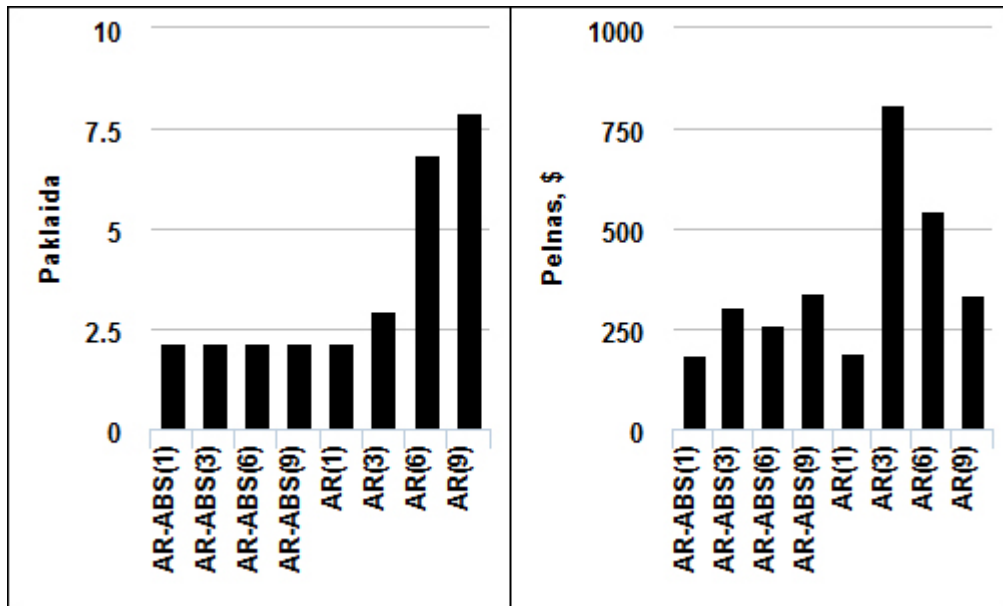


36 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT6, III periodas



37 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT7, III periodas

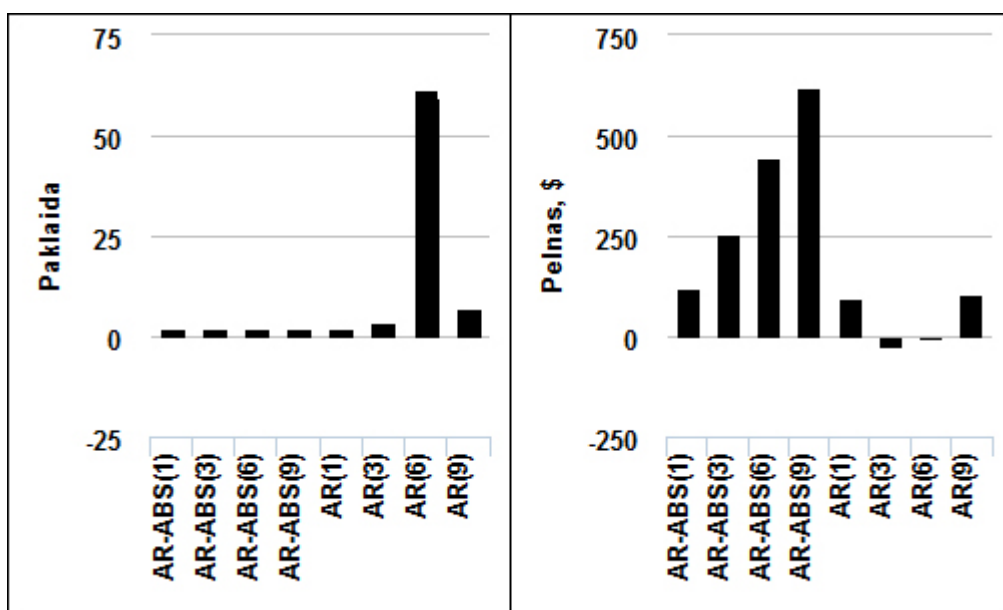
38 pav. vaizduojami III periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT8.



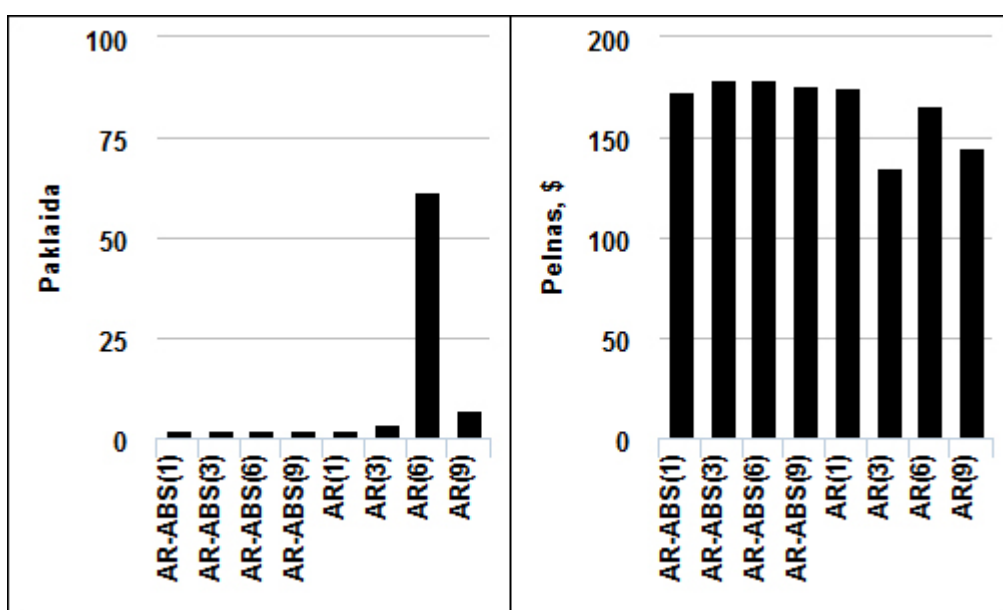
38 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT8, III periodas

39 pav. vaizduojami III periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT9.

40 pav. vaizduojami III periodo skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT10.



39 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT9, III periodas



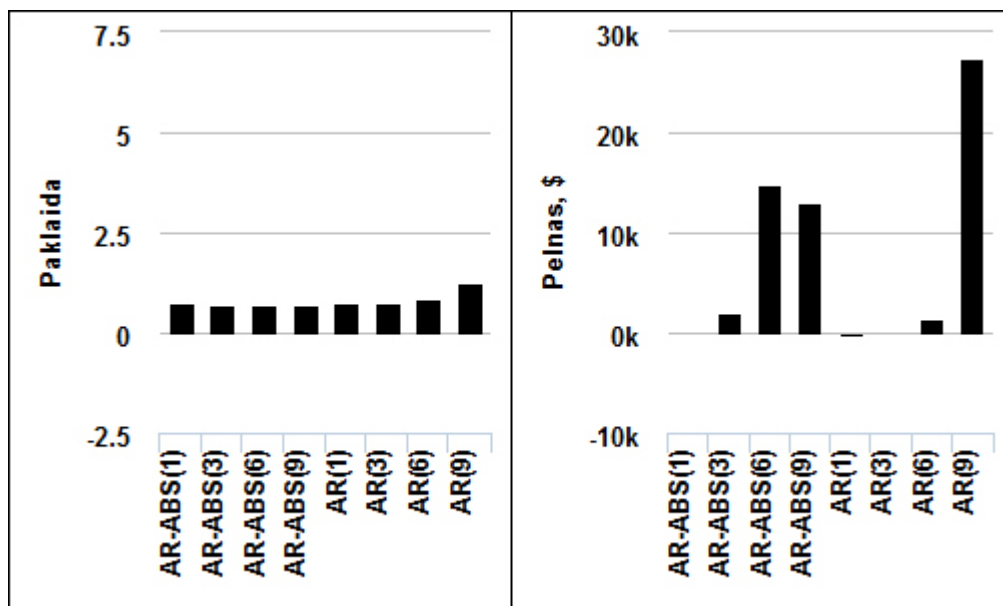
40 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT10, III periodas

4.5. Virtualių akcijų tyrimas – detalus palyginimas

Šiame skyriuje pateikiami pelnų ir akcijų kainų prognozavimo paklaidų

virtualioje aplinkoje grafikai. Diagramose pateikiami skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos.

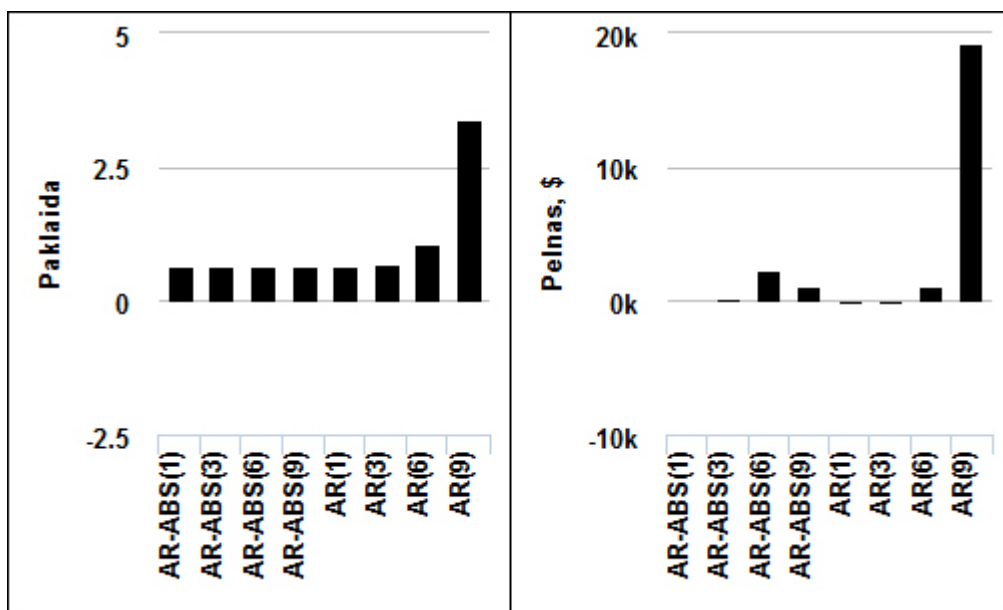
41 pav. vaizduojami skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT1.



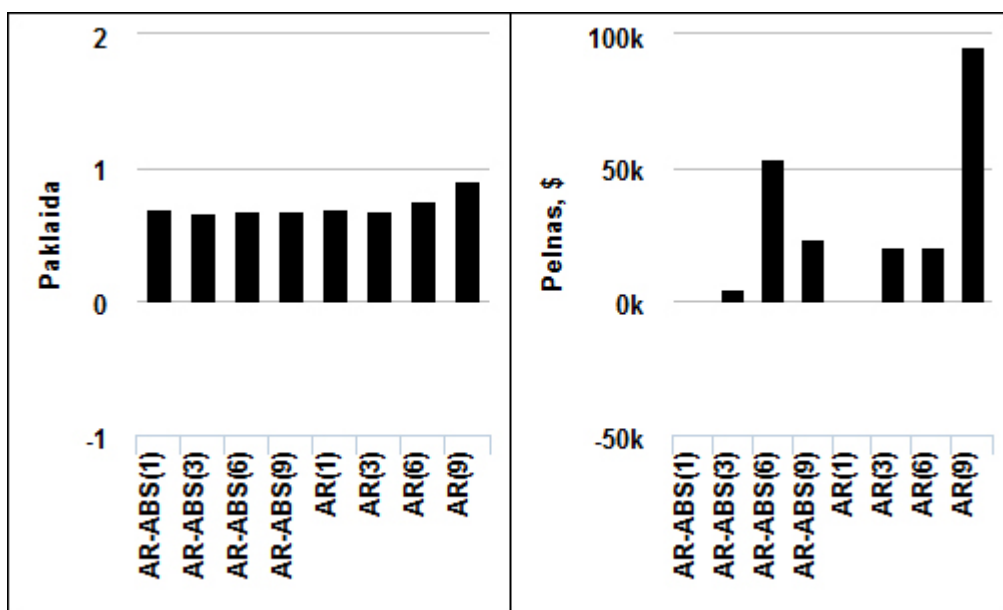
41 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT1, virtuali akcijų birža

42 pav. vaizduojami skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT2.

43 pav. vaizduojami skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT3.

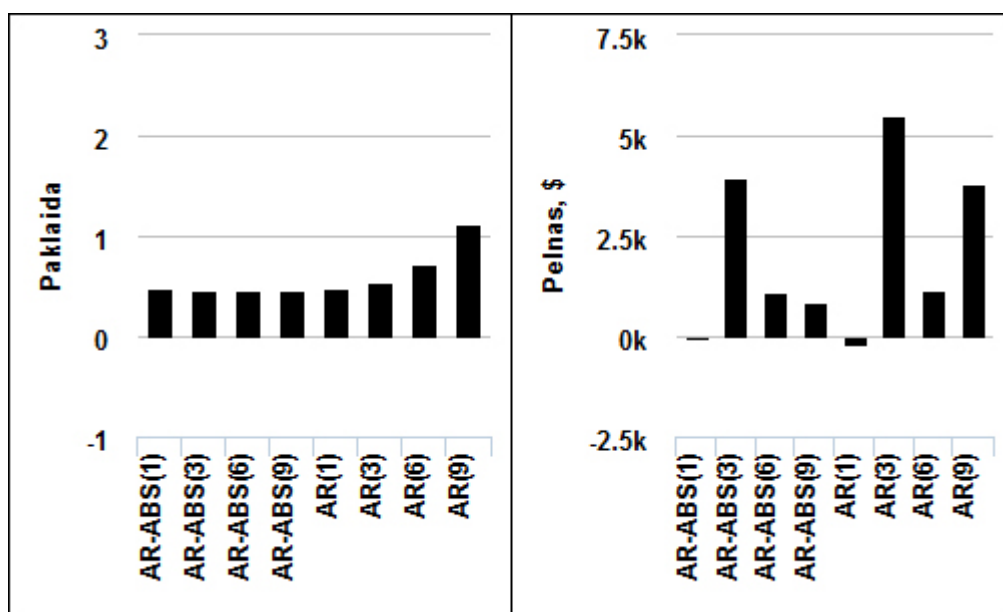


42 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT2, virtuali akcijų birža



43 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT3, virtuali akcijų birža

44 pav. vaizduojami skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT4.



44 pav. Skirtingų prognozavimo modelių pelnai ir prognozavimo paklaidos taikant PT4, virtuali akcijų birža

Lentelės ir grafikai padeda tiesiogiai tirti pelnų ir prognozavimo paklaidų priklausomybę. Pagrindinis šio tyrimo privalumas yra tas, kad vidutinės paklaidos gali būti lyginamos su „realiais“ pelnais, apskaičiuotais visam laikotarpiui, apimančiam visus pagrindinius veiksmus, imituojančius realius investavimo procesus. O trūkumas tas, kad negali būti nustatyta priklausomybės stiprumo skaitmeninė reikšmė. Skaitmeninė reikšmė nustatoma 4.6. ir 4.7. skyriuose pagal standartines koreliacijos formules, naudojamos dieninės pelnų ir prognozavimo paklaidų poros. Taigi trūkumas yra tas, kad visų laikotarpių galutinis pelnas yra pakeičiamas dieninių pelnų seka. Tai reiškia, kad imituojamos ne pradinės prekybos taisyklės, aprašytos ankstesniuose skyriuose, bet jų modifikacijos.

Bendra 11–44 pav. ypatybė yra ta, kad AR-ABS(p) paklaidos beveik sutampa su minimalia AR(1) paklaida. Kodėl AR(1) paklaida yra minimali paaiškinama Fama efektyvios rinkos teorija: akcijų kainos kinta pagal RW modelį, o šis yra artimas AR(1) modeliui. Prastesnius AR($p > 1$) modelių

rezultatus galima paaiškinti remiantis persimokymo teorija (Bailey, et al., 2014), mat AR modelis, minimizuodamas kvadratinis nuokrypius, tiksliau prisitaiko prie ankstesnių duomenų nei AR-ABS modelis, minimizuojantis absoliutinius nuokrypius, ir todėl prasčiau prognozuojantis būsimas kainas.

4.6. Portfelių pelnų ir akcijų kainų prognozavimo paklaidų koreliacijos atskirai skirtingoms akcijoms

Šiame darbe lyginant prognozavimo paklaidų ir vidutinių pelnų grafikus pastebėta, kad minimali kainų prognozavimo paklaida nebūtinai reiškia maksimalų pelną. Šis faktas prieštarauja dažnai nuomonei, kad investuotojai, geriau prognozuojantys akcijų kainas, gauna didesnę pelną. Norint ištirti šį reiškinį apskaičiuotos koreliacijos tarp pelnų ir prognozavimo paklaidų su 95 % pasikliautinumo intervalais (Shen & Lu, 2006). Koreliacijos apskaičiuotos kiekvienai akcijai atskirai, tad jos buvo skirtingos, nes prognozavimo paklaidos priklauso nuo akcijos. Dieninės koreliacijos negali būti apibrėžtos ilgalaikėmis taisyklėmis, nes šiose taisyklėse pelnas apskaičiuojamas tik vieną kartą už visą laikotarpį. Šiuo atveju akcijos yra įsigyjamos testuojamo rinkinio pradžioje ir parduodamos šio rinkinio pabaigoje. Tad ištirtos tik keturios trumpalaikės prekybos taisyklės.

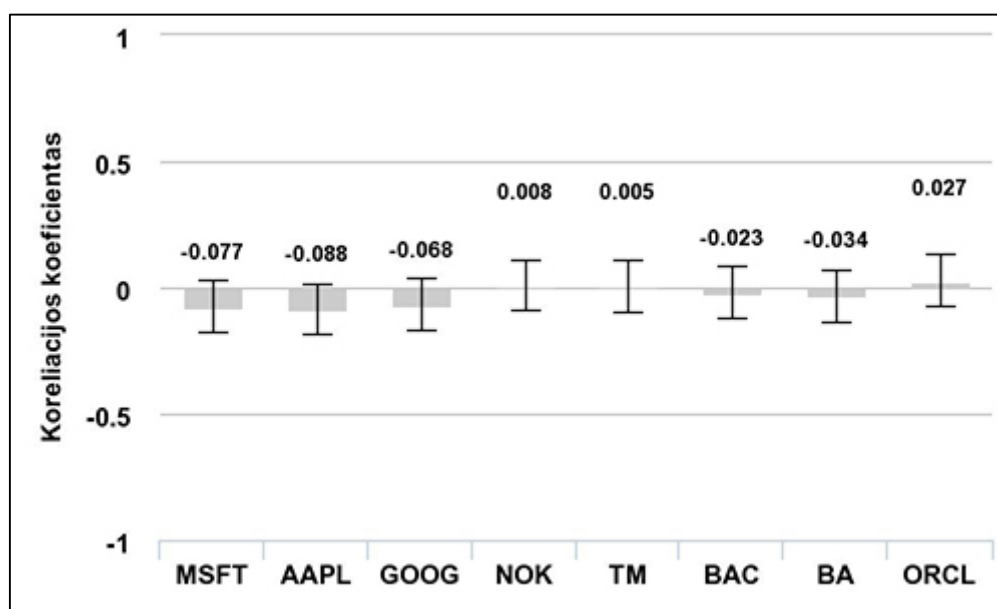
Remiantis pelnų ir prognozavimo paklaidų vaizdiniu palyginimu, spėta, kad koreliacija tarp pelnų ir standartinių prognozavimo paklaidų bus maža, tačiau neigiama. Pasitvirtino tik pirma šio spėjimo dalis: netikėtai gautos teigiamos koreliacijos. Kai kuriais atvejais jų teigiamumas buvo statistiškai reikšmingas (pagal 95 % pasikliautinumo intervalus), o kitais – nereikšmingas.

Tiksliai apibrėžti, kodėl realaus pelno priklausomybė nuo prognozuojamų kainų tikslumo yra silpna ir kartais neigiama, nėra lengva užduotis. Nors neigiama priklausomybė nėra statistiškai reikšminga apskaičiuojant visų

portfelio akcijų vidurkius, ji gali būti statistiškai reikšminga atskiroms akcijoms. Pavyzdžiui, 63–65 pav. vaizduojamos vidutinės koreliacijos, kurių neigiamos priklausomybės iš esmės nėra statistiškai reikšmingos, bet yra viena statistiškai reikšminga Nokia akcijoms (žr. 53 pav.).

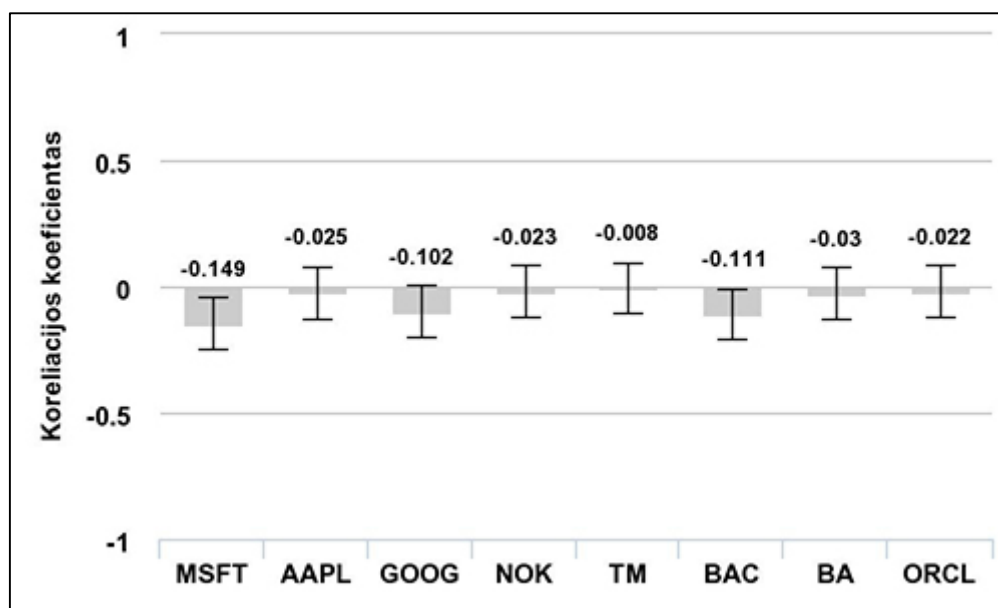
Aiški yra tik ta išvada, kad tiesioginis pelnų prognozavimas konkrečiai prekybos taisyklei turėtų būti pagrindinis investuotojo tikslas. Prognozavimo tikslumas yra tik vienas iš veiksnių. Toliau pateikti paveikslai (su minimaliais komentarais) iliustruoja šiuos teiginius. Nėra vienodo dėsningumo, todėl diagramos pateikiamos visos, kad leistų patiems skaitytojams apžvelgti ir tiesiogiai įvertinti eksperimentų rezultatus. Tad tikimasi grįžtamojo ryšio.

45 pav. vaizduojamos I periodo skirtingų akcijų pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT1. Vyrauja neigiamos koreliacijos, ypač MSFT, AAPL ir GOOG akcijų. Tad I periodas, aprašantis pokrizinio augimo tendencijas, skiriasi nuo stabilesnių II ir III periodų. Matyt, gerai apibrėžtos teigiamos tendencijos rolė yra svarbi. Rezultatai patvirtinami kitų I periodo trumpalaikių prekybos taisyklių.

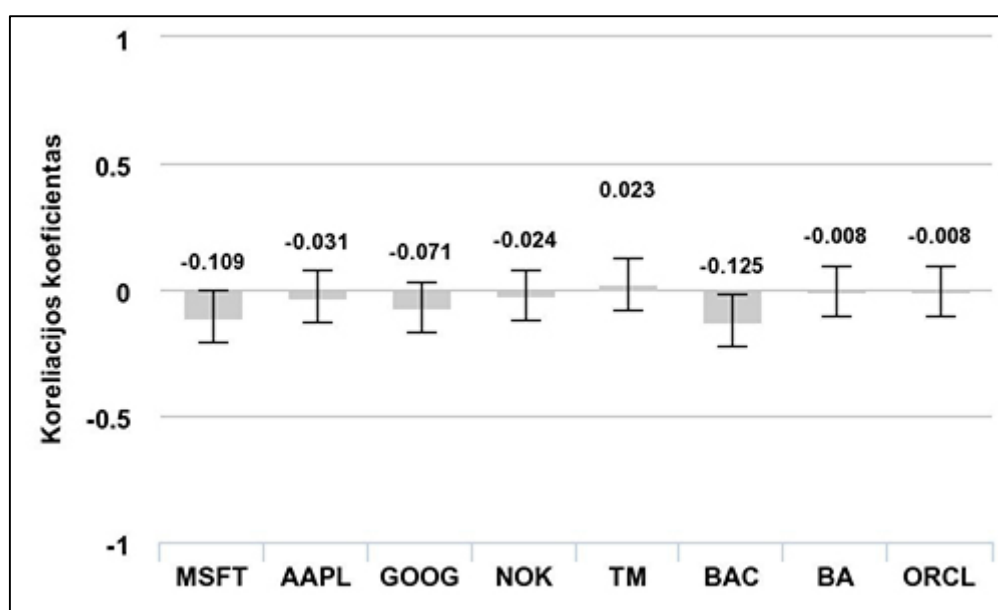


45 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT1, I periodas

46 pav. vaizduojamos I periodo skirtingų akcijų pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT2. Visos koreliacijos yra neigiamos.



46 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT2, I periodas

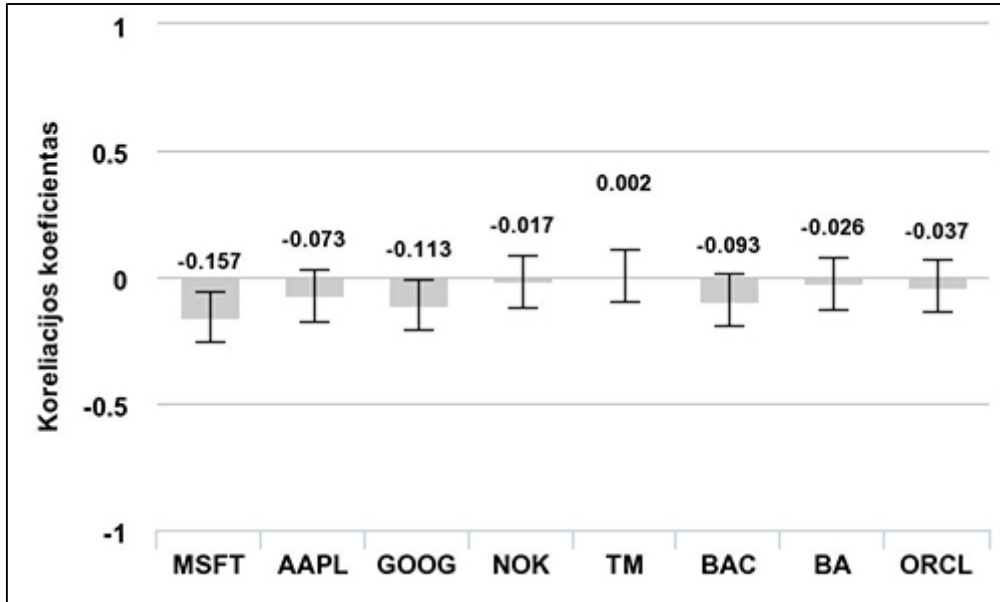


47 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT3, I periodas

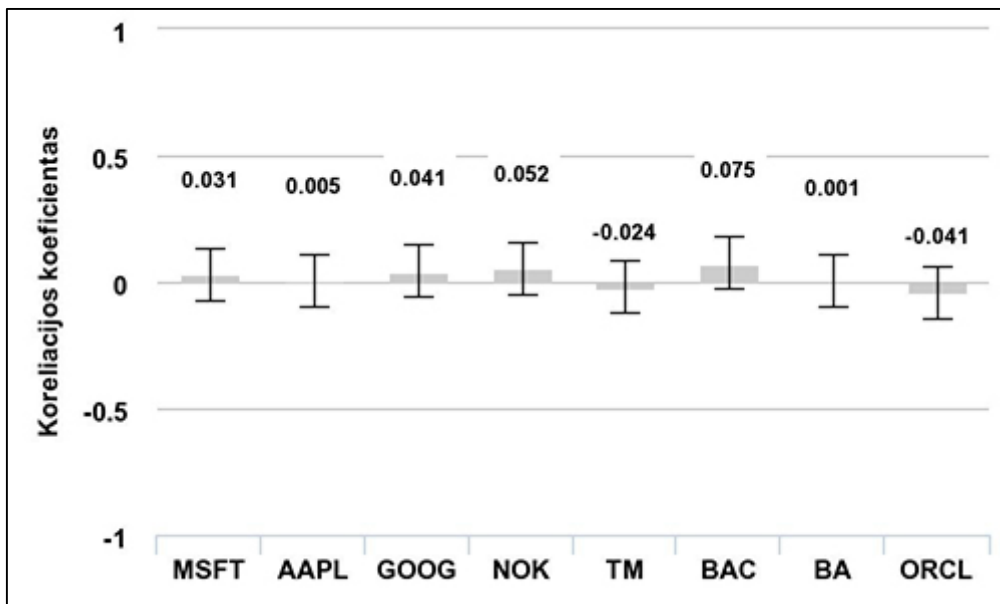
47 pav. vaizduojamos I periodo skirtingų akcijų pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT3. Tai kitas neigiamų koreliacijų pavyzdys, jis

turi tik vieną nedidelę teigiamą TM akcijų koreliaciją.

48 pav. vaizduojamos I periodo skirtingų akcijų pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT4. Vėl matyti tik nežymi teigiama TM akcijų koreliacija.



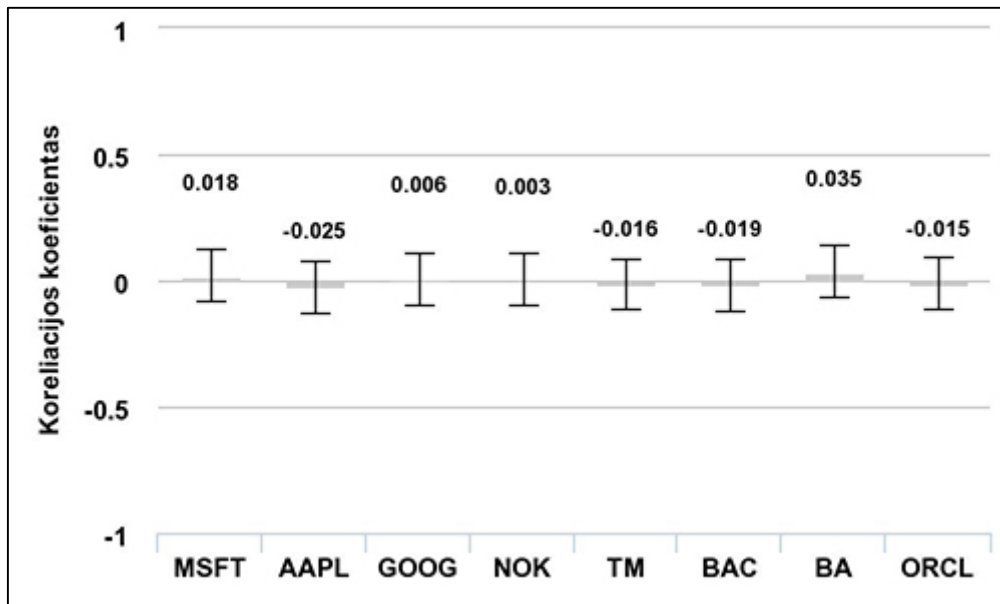
48 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT4, I periodas



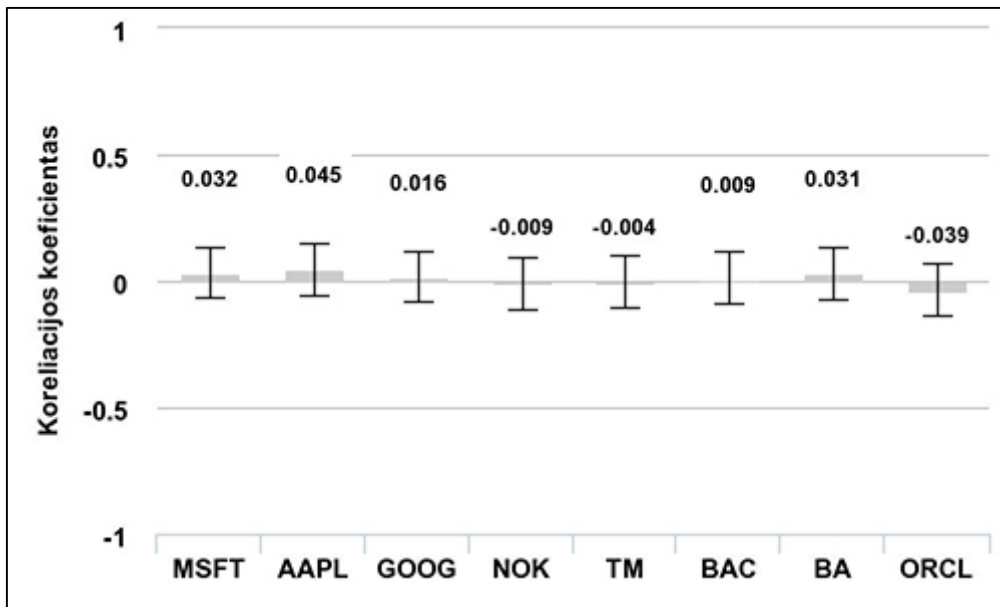
49 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT1, II periodas

49 pav. vaizduojamos II periodo skirtingų akcijų pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT1. Dauguma koreliacijų yra teigiamos ir parodo neigiamą pelno priklausomybę nuo prognozavimo tikslumo ekonomiškai stabilesniu II periodu. Tačiau 64 pav. vaizduojamos vidutinės koreliacijos labai mažos, o to priežastis – atsitiktiniai veiksniai.

50 pav. vaizduojamos II periodo skirtingų akcijų pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT2. Tai darnus keturių teigiamų ir keturių neigiamų koreliacijų pavyzdys. Tačiau tiek teigiamos, tiek neigiamos koreliacijos nėra statistiškai reikšmingos. O vidutinės koreliacijos yra neigiamos (žr. 58 pav.).

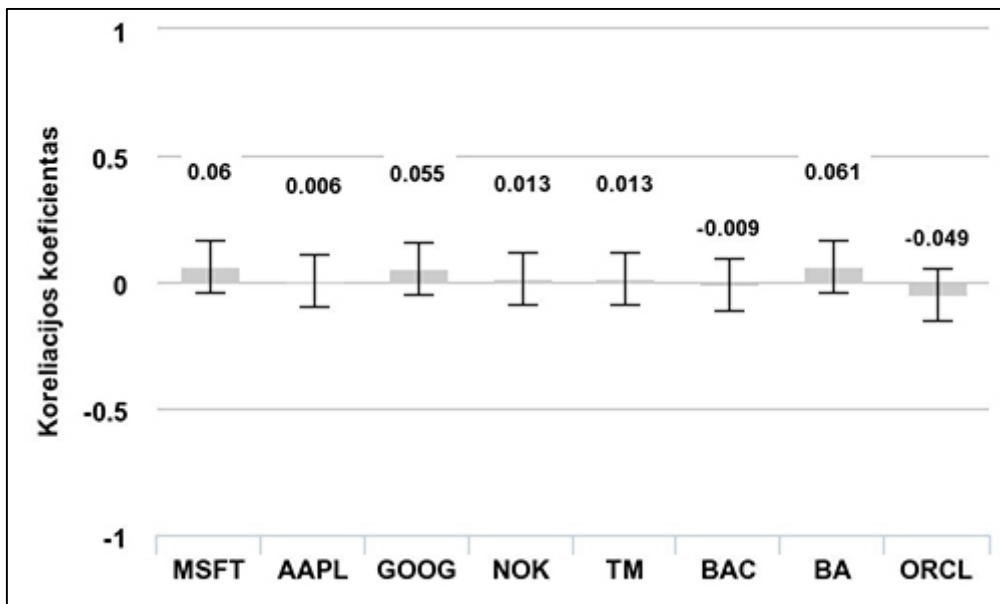


50 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT2, II periodas



51 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT3, II periodas

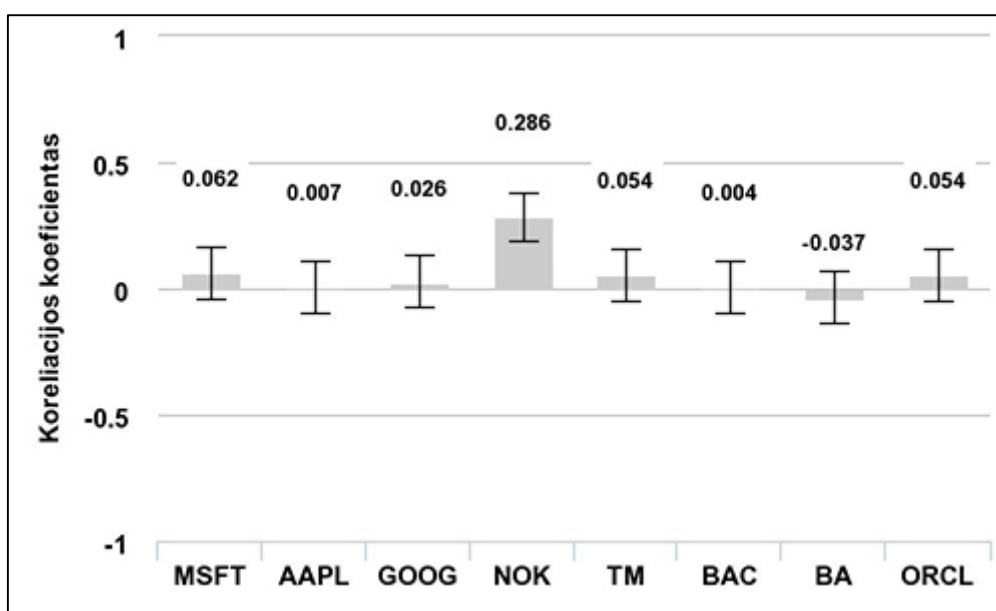
51 pav. vaizduojamos II periodo skirtingų akcijų pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT3. Tai antras teigiamų ir neigiamų koreliacijų pavyzdys. Tačiau šiuo atveju vidutinės koreliacijos yra teigiamos, tik mažesnės ir statistškai nereikšmingos (žr. 64 pav.).



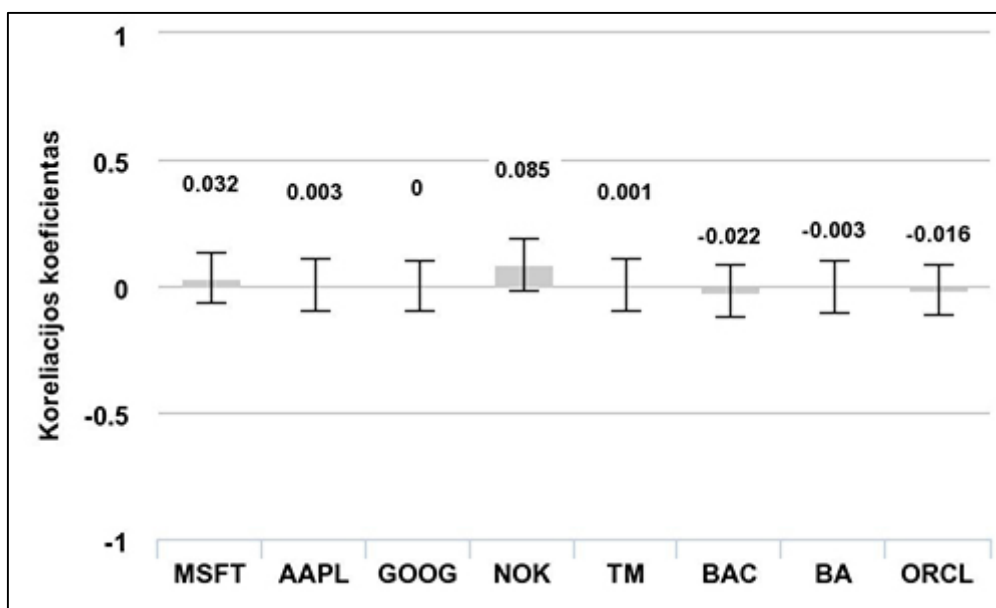
52 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT4, II periodas

52 pav. vaizduojamos II periodo skirtingų akcijų pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT4. Dauguma koreliacijų yra teigiamos. Taigi šiuo periodu prognozavimo tikslumas nereiškia portfelio pelno. PT4 vidutinės koreliacijos taip pat yra teigiamos, bet silpnos ir statistiškai nereikšmingos (žr. 64 pav.). Vidutinės koreliacijos yra apskaičiuojamos tarp portfelio pelnų ir vidutinių prognozavimo paklaidų, tai yra kitas būdas nusakyti priklausomybę tarp portfelio pelno ir prognozavimo tikslumo. Tačiau jo trūkumas yra tai, kad konkrečios atskirų akcijų kainų prognozavimo paklaidos pakeičiamos paklaidų vidurkiais.

49–52 pav. vaizduojamos stabilesnio periodo realaus pelno ir akcijų kainų prognozavimo paklaidų koreliacijos. Koreliacijos dažnai yra teigiamos, o tai reiškia, kad prognozavimo modeliai su didesnėmis prognozavimo paklaidomis duoda didesnę pelną. Tačiau tai nėra patvirtinta vidutiniais rezultatais (žr. 4.8. skyrių).



53 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT1, III periodas

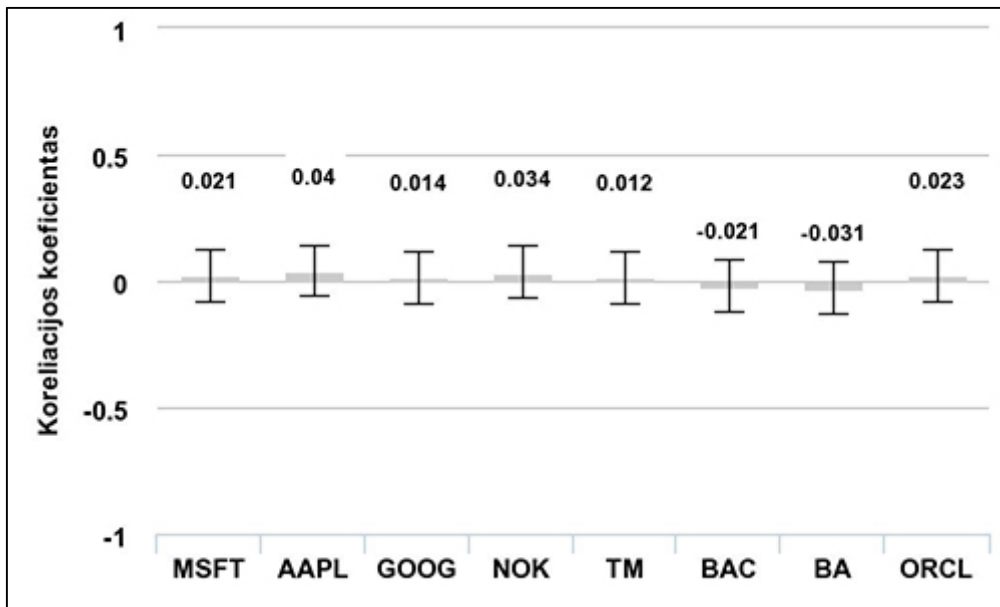


54 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT2, III periodas

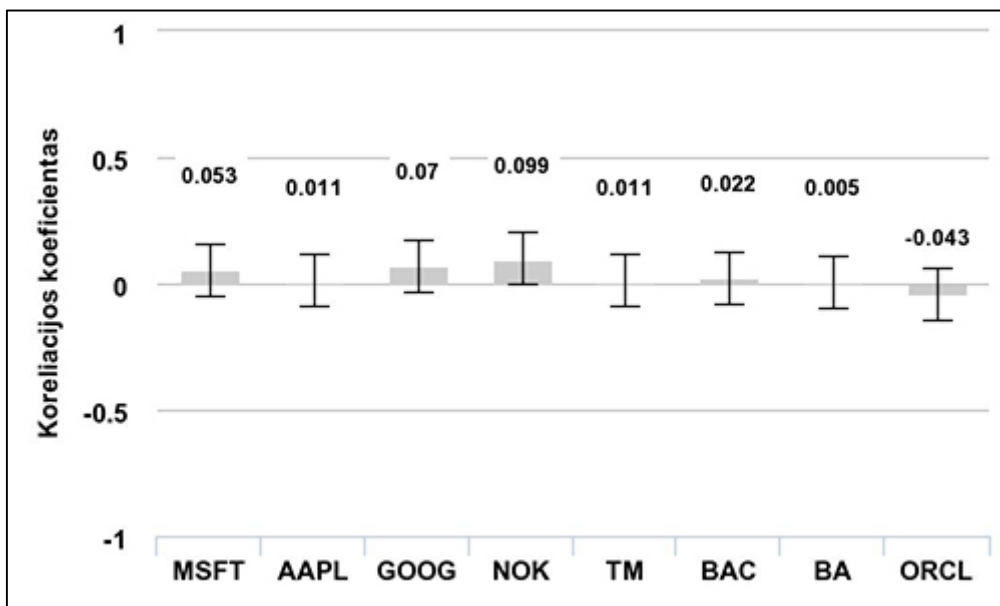
53 pav. vaizduojamos III periodo skirtingų akcijų pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT1. Tai atvejis, kai teigiamų koreliacijų – dauguma, iš jų ir viena statistiškai reikšminga NOK akcijų koreliacija. Vidutinės koreliacijos taip pat yra teigiamos, tačiau silpnos ir statistiškai nereikšmingos (žr. 65 pav.).

54 pav. vaizduojamos III periodo skirtingų akcijų pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT2. Dauguma koreliacijų yra teigiamos, tačiau visos jos yra silpnos ir statistiškai nereikšmingos. O vidutinės koreliacijos yra neigiamos (žr. 65 pav.).

55 pav. vaizduojamos III periodo skirtingų akcijų pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT3. Vyrauja teigiamos koreliacijos, tačiau visos yrasilpnos ir statistiškai nereikšmingos. Šis faktas matyti ir iš teigiamų, bet statistiškai nereikšmingų vidutinių koreliacijų (žr. 65 pav.).



55 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT3, III periodas



56 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT4, III periodas

56 pav. vaizduojamos III periodo skirtingų akcijų pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant PT4. Dauguma jų yra teigiamos. Vidutinės koreliacijos yra teigiamos, bet statistiškai nereikšmingos (žr. 65 pav.).

45–56 pav. vaizduojamos faktinių pelnų ir prognozavimo paklaidų per

visus tris laikotarpius koreliacijos, apskaičiuotos atskirai kiekvienai akcijai. Remiantis šiais rezultatais, neigiamos koreliacijos vyravo tik per I periodą su aiškiai teigiama akcijų kainų tendencija (trendu). Kitų abiejų stabilesnių periodų koreliacijos daugiausia buvo teigiamos, tačiau dažniausiai statistiškai nereikšmingos. Teigiamos koreliacijos gali būti paaiškintos specifinėmis koreliacijų nustatymo atskiroms akcijoms ypatybėmis, nes vidutinės koreliacijos rodo tik statistiškai nereikšmingas teigiamas koreliacijas (žr. 64 ir 65 pav.). Tad iš esmės vidutinės teigiamos koreliacijos gali būti paaiškintos kaip atsitiktinės paklaidos. Tačiau išlieka tikimybė, kad gautos teigiamos pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos yra ne atsitiktinės, o specifinių veiksnių poveikio rezultatas. Plačiau šis reiškinys nagrinėjamas 4.8. skyriuje, kai tiriamos koreliacijos tarp skirtingų veiksnių.

4.7. Portfelio pelnų, akcijų kainų prognozavimo paklaidų ir akcijų kainų pokyčių vidutinės koreliacijos

Šiame skyriuje pristatytos skirtingų duomenų koreliacijos, siekiama paaiškinti silpną ir kartais neigiamą priklausomybę tarp pelnų ir akcijų kainų prognozavimo paklaidų. Vidutinės koreliacijos yra apibrėžiamos kaip koreliacijos tarp portfelio pelnų ir akcijų kainų prognozavimo paklaidų vidurkio. Paklaidų vidurkiai yra apskaičiuojami visam portfeliui, pagal visas akcijas vienodai. Tai leidžia daryti prielaidą, kad skirtingų akcijų įnašai yra lygūs. Šis faktas gali pakeisti rezultatus. Vis dėlto prielaida yra reikalinga bent jau pirmam tyrimo etapui, kad būtų išvengta papildomų neaiškumų.

Dar viena užduotis – įvertinti rezultatų jautrumą mažiems duomenų rinkinio pokyčiams. Todėl eksperimentas su skirtingų prekybos taisyklių laiko eilutėmis pastumtas per keletą dienų. Tai padaryta tik pirmaisiais trimis periodais – ketvirtuoju periodu laikas nepastumtas.

4.7.1. Pelnų ir akcijų kainų prognozavimo paklaidų silpnų ir kartais teigiamų koreliacijų paaiškinimas

Paaiškinti pelnų ir akcijų kainų prognozavimo paklaidų silpnas ir kartais teigiamas koreliacijas nėra paprasta, nes priklausomybė tarp pelno ir prognozavimo paklaidos nėra tiesinė ir apima daug papildomų sąlygų. Priklausomybė tarp kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų yra paprastesnė ir suprantamesnė, ypač taikant paprastus prognozavimo modelius, tokius kaip RW. O štai priklausomybė tarp kainų pokyčių ir pelnų padeda išsiaiškinti galutinį rezultatą – pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliaciją.

Jeigu nėra sandorių, pelnai yra tiesinės akcijų kainų pokyčių funkcijos. Aktyvioje rinkoje pelnai priklauso nuo prekybos taisyklių, taip pat ir nuo papildomų sąlygų. Tikslios išraiškos yra sudėtingos, todėl pelnai yra apskaičiuojami kaip koreliacijos. Tačiau koreliacijos yra skirtos apibrėžti tiesinei statistinei priklausomybei, o prekybos taisyklės, turinčios papildomų sąlygų, iškraipo tiesiškumą. Todėl kai kuriais atvejais gaunami netikėti rezultatai. Šie pastebėjimai padeda geriau suvokti tam tikras bendrąsias tendencijas.

I ir IV periodais pelnų ir akcijų kainų koreliacijos yra teigiamos (žr. 60 ir 67 pav.). II ir III periodais koreliacijos taip pat yra teigiamos, tačiau daug mažesnės (žr. 61 ir 62 pav.).

Priklausomybę tarp pelno ir prognozavimo paklaidos galima nustatyti darant prielaidą, kad pelnų vidurkiai yra didėjanti akcijų kainų pokyčių funkcija (skirtumai tarp dabartinių ir ankstesnių kainų). Vis dėlto netikėtas rezultatas yra tas, kad statistiškai reikšmingos akcijų kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos (pvz., 57 pav.) transformuojamos į dažniausiai statistiškai nereikšmingas pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijas, vaizduojamas 63 pav. Lyginant 63 pav. su 60 pav. matyti, kad skirtingų prekybos taisyklių pelno ir prognozavimo paklaidos koreliacijos 63

pav. yra panašios į pelno ir akcijų kainos pokyčio koreliacijas 60 pav. Tai reiškia, kad mastelio mažinimo šaltinis yra netiesinė priklausomybė tarp portfelio pelnų ir akcijų kainų pokyčių.

Taigi pirmas žingsnis – apskaičiuoti akcijų kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijas (žr. 57–66 pav.). Kitas žingsnis – apskaičiuoti akcijų kainų pokyčių ir pelnų koreliacijas (žr. 60–67 pav.). O pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos apskaičiuotos paskutiniu etapu (žr. 63–68 pav.).

Esminė šio darbo dalis yra paaiškinti silpnas ir kartais teigiamas koreliacijas tarp akcijų kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų, vaizduojamas 58, 59 ir 66 pav. Akcijų kainų pokyčiai yra apskaičiuojami kaip skirtumas tarp dabartinių ir ankstesnių kainų. Prognozuojami nuokrypiai yra skirtumai tarp prognozuojamų ir realių akcijų kainų. O prognozavimo paklaidos – absoliutūs ar kvadratiniai nuokrypiai.

Pagal paprasčiausią RW prognozavimo modelį, gerai žinomą efektyvios rinkos teorijoje (Fama, 1995), prognozuojama kaina yra lygi dabartinei kainai. Tai reiškia, kad prognozavimo paklaidos yra lygios absoliutiems ar kvadratiniais akcijų kainų pokyčiams. Jeigu RW modelis taip pat gali apibūdinti laiko eilutes, taiteigiami ir neigiami komponentai koreliacijos formulėje bus apytikriai lygūs ir koreliacija bus artima nuliui.

Jeigu tikėtina akcijų kaina $EZ(t)$ gali būti išreikšta, pavyzdžiui, kaip RW ir teigiama tendencija $b > 0$

$$EZ(t) = a + bt, \quad (58)$$

tai akcijų kainų pokyčiai bus vidutiniškai teigiami.

Pagal RW modelį prognozuojamos paklaidos yra absoliutūs arba kvadratiniai kainų pokyčiai. Todėl vyrauja teigiamos koreliacijos tarp akcijų kainų pokyčių ir prognozuojamų kainų paklaidų. Įprastai tai duoda teigiamas pelno ir prognozavimo paklaidos koreliacijas, nes pelnai yra vidutiniškai didėjanti akcijų kainų pokyčių funkcija. Galima laikyti tokias laiko eilutes

RW-neprognozuojamomis, nes taikant RW modelį negalima teisingai prognozuoti kainų.

Tačiau kai laiko eilutėms su gerai apibrėžtomis akcijų kainų pokyčių tendencijomis taikomi autoregresiniai modeliai $AR(p > 1)$ galima tikėtis priešingų rezultatų. Pavyzdžiui, taikant šiuos modelius laiko periodams su teigiamomis akcijų kainų tendencijomis, tokiomis kaip 58 formulėje, teigiami akcijų kainų pokyčiai duoda mažesnes vidutines prognozavimo paklaidas nei neigiami pokyčiai. Skirtumai geriausiai matyti, kai kainų svyravimai palyginti maži ir $AR(p > 1)$ modeliai gerai pritaikyti. Taigi laiko eilutes, kurios yra RW-neprognozuojamos, paprastai galima nuspėti taikant autoregresinius modelius $AR(p > 1)$.

Realaus laiko eilutės skiriasi nuo modelio (58). Koreliacijoms apskaičiuoti pritaikyti AR ir AR-ABS modeliai vietoje RW. RW modelis aptartas siekiant paaiškinti galimas gautų teigiamų koreliacijų tarp pelno ir akcijų kainų prognozavimo paklaidų priežastis.

Koreliacijos priklausomybė nuo prognozavimo modelių yra vaizduojama 72 pav., kuriame pateikiamos $AR(1)$ ir $AR-ABS(p)$ modelių koreliacijos. Matyti neigiamos koreliacijos, kai taikomi $AR(p > 1)$ modeliai. Koreliacijų vidurkiai 66 pav. yra teigiami, nes teigiami komponentai 72 pav. yra svaresni nei neigiamas poveikis. Tai paaiškina ir kodėl vidutinės koreliacijos tarp kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų, pateiktos 58–66 pav., yra teigiamos.

Kyla svarbus klausimas – kodėl AR-ABS modeliai elgiasi kaip RW, o ne kaip $AR(p > 1)$.

Bendra pateiktų grafikų ypatybė yra ta, kad $AR-ABS(p)$ paklaidos beveik sutampa su $AR(1)$ paklaida ir yra beveik minimalios. Šis $AR(1)$ optimalumas paaiškinamas Fama efektyvios rinkos teorija (Fama, 1995), nes $AR(1)$ yra artimas RW. $AR(p > 1)$ modelių rezultatus, prastenius nei $AR(1)$ ir $AR-ABS(p > 1)$, galima paaiškinti remiantis persimokymo teorija (Bailey, et al.,

2014), mat $AR(p > 1)$ modeliai minimizuoja kvadratinius nuokrypius ir tiksliau prisitaiko prie ankstesnių duomenų.

Reikėtų atkreipti dėmesį, kad tiek AR-ABS(1), tiek AR(1) modeliai gali būti laikomi AR modelio aproksimacija.

Statistiškai reikšmingos neigiamos vidutinės akcijų kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos gautos laiko eilutėse su gerai apibrėžtomis akcijų kainų pokyčių tendencijomis (žr. 3 ir 57 pav.). Kitais dviem periodais vyravo teigiamos koreliacijos (žr. 57–66 pav.). II periodu gauti mišrūs rezultatai: viena statistiškai reikšminga teigiama ir dvi statistiškai reikšmingos neigiamos koreliacijos (žr. 58 pav.). IV periodu vidutinės akcijų kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos buvo teigiamos (žr. 66 pav.). O I periodu šios koreliacijos yra statistiškai reikšmingos ir neigiamos (žr. 57 pav.).

Kadangi vidutiniai pelnai yra didėjančios kainų pokyčių funkcijos, gaunamos teigiamos, daugiausia statistiškai reikšmingos, koreliacijos visais periodais (žr. 60–67 pav.). Tai paaiškina koreliacijų tarp akcijų kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų svarbą nustatant galutinį rezultatą – pelną ir prognozavimo paklaidų koreliacijas. Tačiau pasitaikė netikėta išimtis – IV periodu su teigiama akcijų kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacija (žr. 66 pav.) gauta statistiškai nereikšminga neigiama pelno ir akcijų kainų prognozavimo paklaidos koreliacija (žr. 68 pav.).

Taip nutiko todėl, kad $AR(p)$ modeliuose akcijų kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taip pat buvo neigiamos (žr. 72 pav.). Viena priežastis – trys neigiamos $AR(p)$ modelių koreliacijos yra svaresnės nei penkios teigiamos todėl, kad pelnų ir akcijų kainų pokyčių koreliacijų neigiami komponentai yra didesni (žr. 76 pav.). Kita priežastis yra ta, kad apibrėžiant vidutinės paklaidų koreliacijas visos akcijos yra laikomos vienodai svarbios, o aktyvios akcijos neatskiriamos nuo akcijų, kuriomis nėra prekiaujama. To pavyzdys yra Nokia akcijos (žr. 53 pav.).

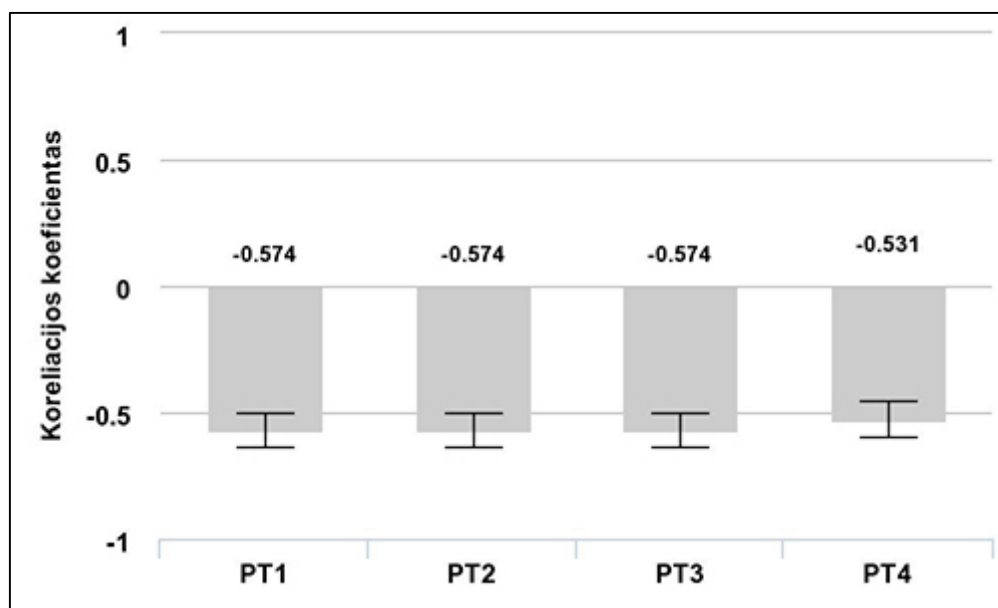
Neigiamos ir teigiamos koreliacijos tarp akcijų kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų, vaizduojamos 57 ir 66 pav., nebūtinai lemia neigiamas ir teigiamas koreliacijas tarp pelnų ir prognozavimo paklaidų. Mat koreliacijos yra apibrėžiamos sąveika tarp skirtingų akcijų realių kainų pokyčių ir skirtingų prognozavimo modelių, dažnai duodančių priešingus rezultatus (žr. 72 pav.).

Keblumų kyla todėl, kad daugelio akcijų atveju pelnai yra apibrėžiami visam portfeliui, o ne atskiroms akcijoms. Kita vertus, prognozavimo paklaidos yra apskaičiuojamos atskirai kiekvienai akcijai. Reikėtų atkreipti dėmesį, kad pelnas priklauso nuo dviejų veiksnių: prognozavimo modelio ir prekybos taisyklės. Šio darbo eksperimentai rodo, kad prekybos taisyklės – svarbesnis veiksnys. Papildomi paaiškinimai pateikti grafikų komentaruose.

4.7.2. Pirmųjų trijų periodų koreliacijos ir eksperimentiniai rezultatai

57 pav. vaizduojamos I periodo koreliacijos tarp akcijų kainų pokyčių (skirtumų tarp esamų ir ankstesnių kainų) ir kainų prognozavimo paklaidų (kvadratinių arba absoliutinių skirtumų tarp prognozuojamų ir esamų kainų). Visos koreliacijos yra statistiškai reikšmingos ir neigiamos, tai reiškia, kad akcijų kainų pokyčių ir prognozavimo tikslumo priklausomybė yra teigiama. Šio rezultato paaiškinimas – autoregresiniai modeliai geriau prognozuoja pokrizinio pirmojo bendrojo ekonomikos augimo laikotarpiu nei kitų laikotarpių atveju (žr. 3 pav.).

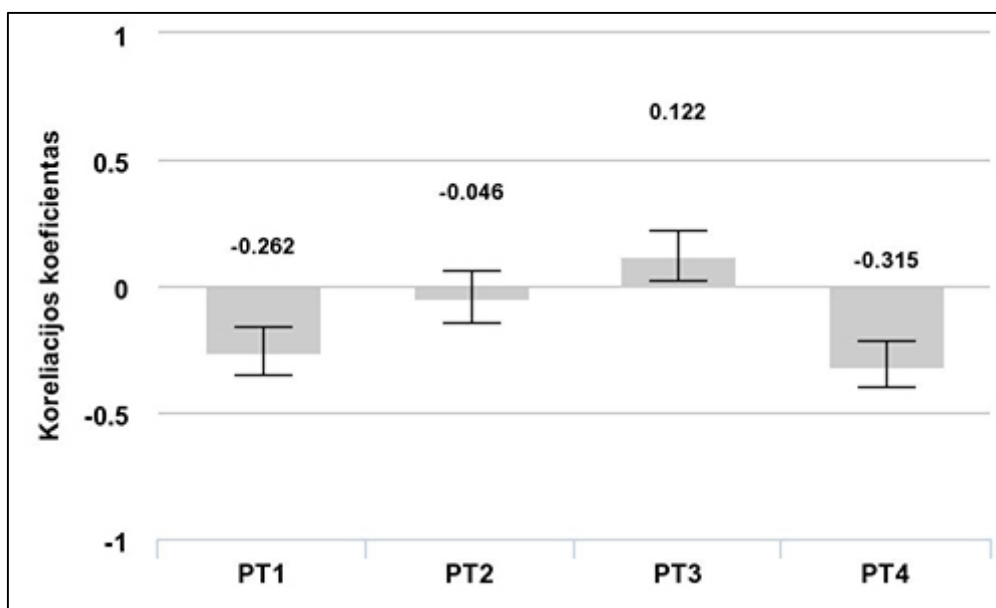
63 pav. taip pat vaizduojama neigiama pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacija. Tai – tikėtinas rezultatas, nes pelnas yra vidutiniškai didėjanti kainų pokyčių funkcija. Tačiau pelno ir paklaidos koreliacija yra mažesnė, mat tiek prognozavimo paklaidos, tiek pelnai yra netiesinės funkcijos. Pelno funkcijos netiesiškumą lemia transakcijos ir pasiskolintos išlaidos bei kai kurie kiti pelno skaičiavimo apribojimai.



57 pav. Akcijų kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingas prekybos taisykles, I periodas

Tiek akcijų kainų pokyčiai, tiek prognozavimo paklaidos nepriklauso nuo prekybos taisyklių. Taigi koreliacijų skirtumai, vaizduojami 57 pav., yra duomenų poslinkių rezultatas. Šie skirtumai yra nereikšmingi, jie parodo rezultatų santykinį stabilumą periodais, kai kainų pokyčių tendencijos gerai apibrėžtos. II ir III periodais, stabilios ekonomikos sąlygomis, – priešingai, 58 ir 59 pav. vaizduojamas stiprus koreliacijų jautrumas mažiems duomenų pokyčiams.

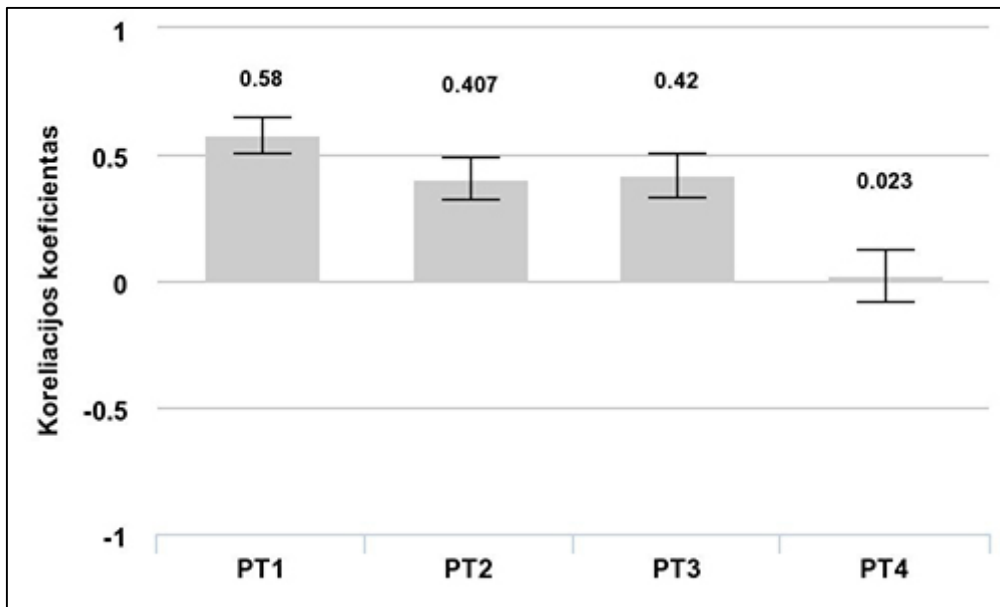
58 pav. vaizduojamos II periodo koreliacijos tarp akcijų kainų pokyčių ir kainų prognozavimo paklaidų. Viena iš koreliacijų – teigiama (PT3). Iš pasikliautinųjų intervalų matyti, kad to nelemia atsitiktiniai veiksniai. Tai reiškia, kad taikant tam tikras prekybos taisykles stabilesnėmis ekonomikos sąlygomis, standartiniai autoregresiniai modeliai akcijų kainų pokyčių teisingai neprognozuoja.



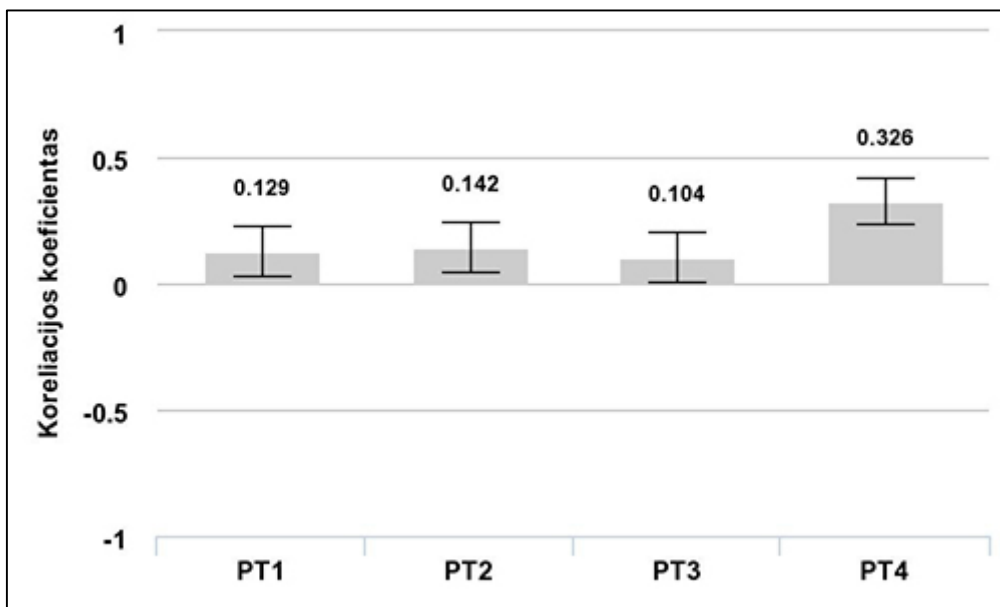
58 pav. Akcijų kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingas prekybos taisykles, II periodas

59 pav. vaizduojamos III periodo koreliacijos tarp akcijų kainų pokyčių ir kainų prognozavimo paklaidų. Dauguma koreliacijų yra statistiškai reikšmingos ir teigiamos, o tai reiškia, kad kainų pokyčių priklausomybė nuo prognozuojamų kainų tikslumo – neigiama. Tačiau PT4 koreliacija yra artima nuliui. Šis rezultatas rodo, kad šiuo periodu koreliacijos yra jautresnės mažiems duomenų pokyčiams, nors teoriškai jos visos turėtų būti vienodos. 65 pav. matyti kitokios pelnų ir kainų prognozavimo paklaidų koreliacijos: teigiamos koreliacijos yra statistiškai nereikšmingos ir beveik atitinka pelnų ir kainų pokyčių koreliacijas, vaizduojamas 62 pav.

60 pav. vaizduojamos I periodo pelnų ir kainų pokyčių koreliacijos. Visos koreliacijos yra statistiškai reikšmingos, teigiamos ir priklauso nuo prekybos taisyklių. Natūralu – juk pelnai priklauso nuo prekybos taisyklių ir yra vidutiniškai didėjančios kainų pokyčių funkcijos.



59 pav. Akcijų kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingas prekybos taisykles, III periodas

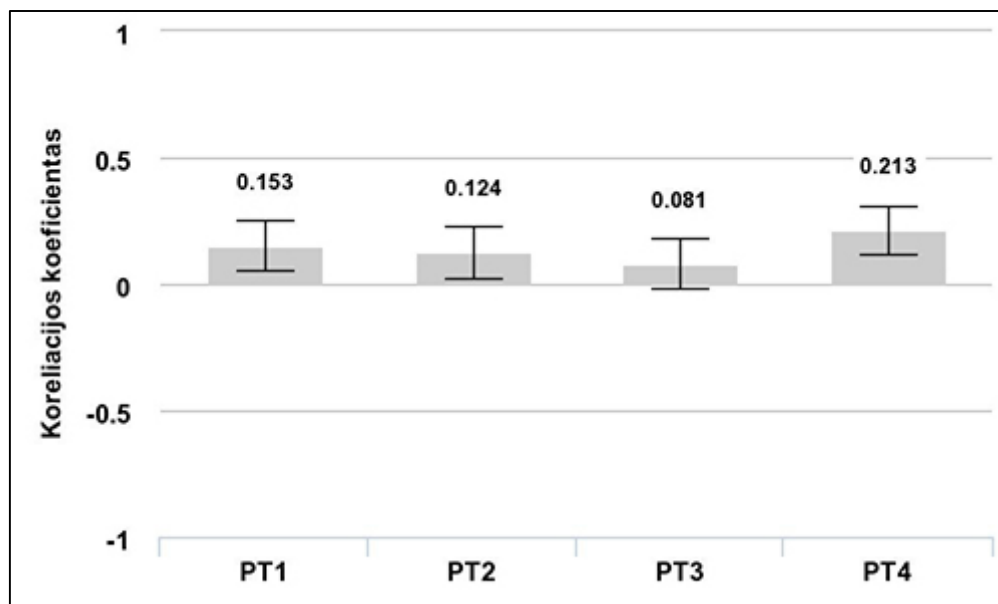


60 pav. Pelnų ir kainų pokyčių koreliacijos taikant skirtingas prekybos taisykles, I periodas

Tačiau kainų pokyčius galima patikimai prognozuoti tik periodams su gerai apibrėžtomis kainų tendencijomis. Stabilios ekonomikos periodais kainų pokyčiai pagal Fama efektyvios rinkos teoriją gali būti artimi RW (Fama,

1995). Iš to aišku, kodėl koreliacijos tarp pelnų ir prognozuojamų paklaidų II ir III periodais esti silpnos ir dažnai teigiamos (žr. 64 ir 65 pav.).

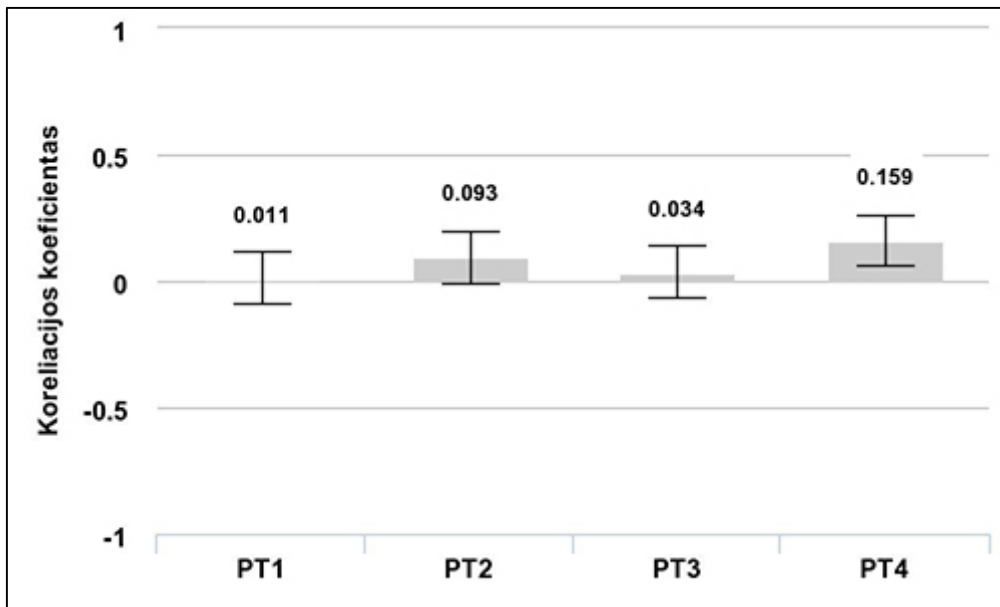
61 pav. vaizduojamos II periodo pelnų ir kainų pokyčių koreliacijos. Kaip ir tikėtasi, visos gautos koreliacijos – teigiamos.



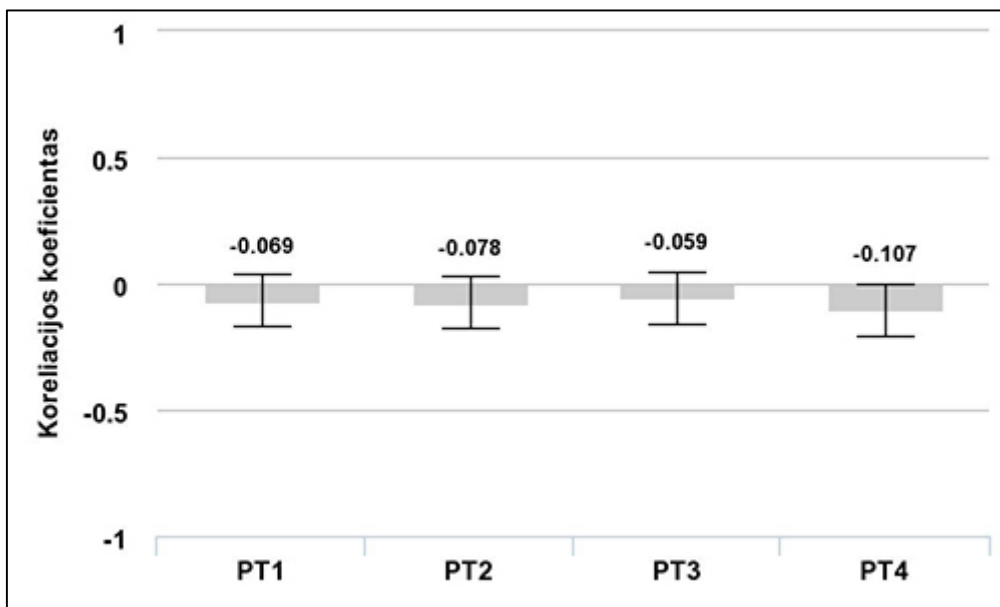
61 pav. Pelnų ir kainų pokyčių koreliacijos taikant skirtingas prekybos taisykles, II periodas

62 pav. vaizduojamos III periodo pelnų ir kainų pokyčių koreliacijos. Ši diagrama panaši į tokią pačią II periodo diagramą, tačiau pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos skiriasi (žr. 65 pav.). To priežastis – skirtingos kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos III periodu (žr. 59 pav.).

63 pav. vaizduojamos I periodo pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingas prekybos taisykles. Visos koreliacijos yra neigiamos, tačiau tik viena iš jų – statistiškai reikšminga.



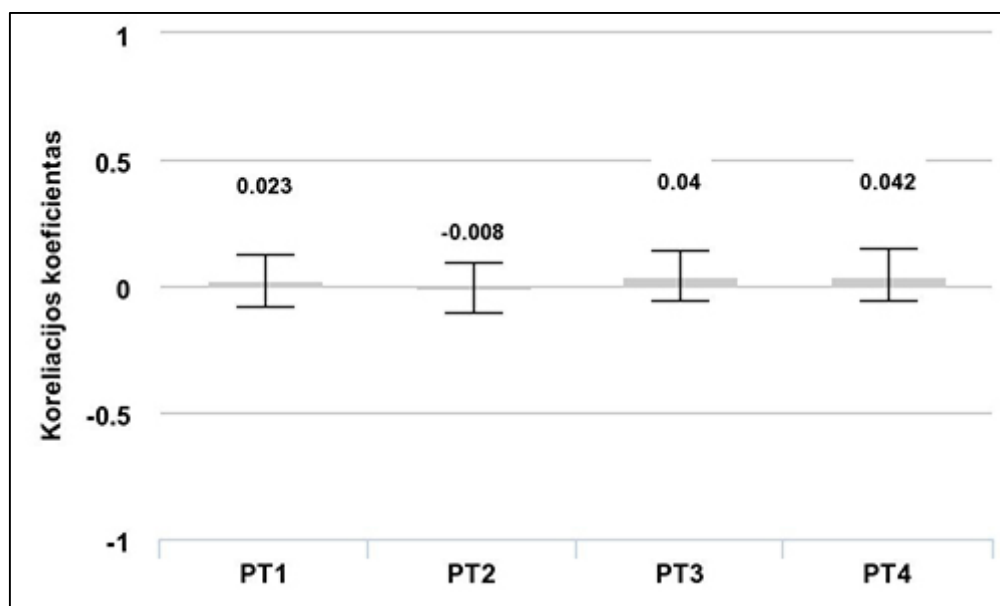
62 pav. Pelnų ir kainų pokyčių koreliacijos taikant skirtingas prekybos taisykles, III periodas



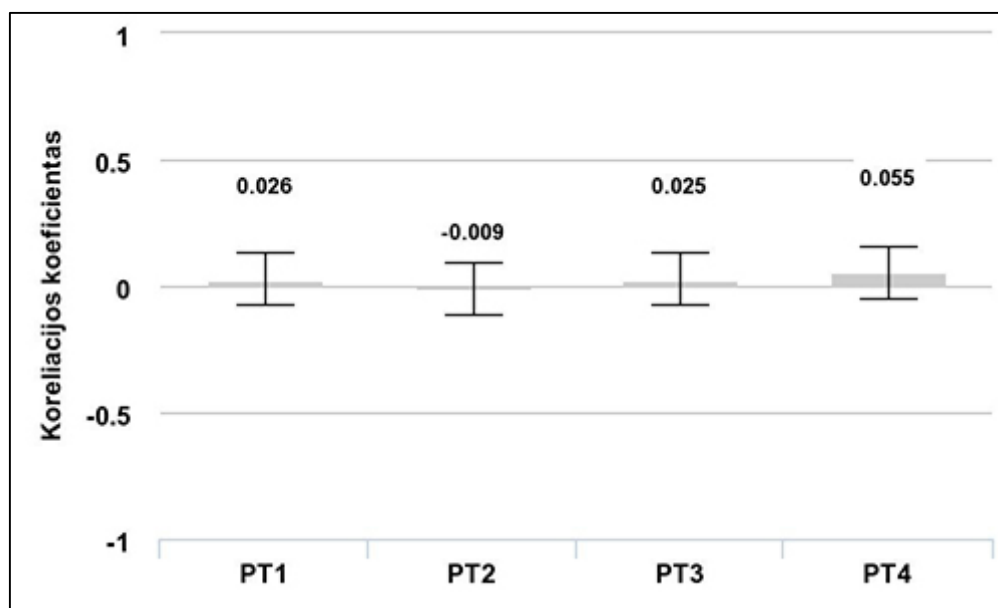
63 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingas prekybos taisykles, I periodas

64 pav. vaizduojamos II periodo pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingas prekybos taisykles. Dauguma koreliacijų yra silpnos ir teigiamos ir rodo, kad pelnų priklausomybė nuo prognozuojamų kainų tikslumo yra statistiškai nereikšminga ir neigiama.

65 pav. vaizduojamos III periodo pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingas prekybos taisykles. Dauguma koreliacijų yra teigiamos, tačiau silpnos ir statistiškai nereikšmingos. Matyti panašumų su II periodu. Natūralu – abiejų periodų ekonomikos sąlygos yra santykinai stabilios ir kainų pokyčiai be papildomos informacijos yra beveik neprognozuojami.



64 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingas prekybos taisykles, II periodas



65 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingas prekybos taisykles, III periodas

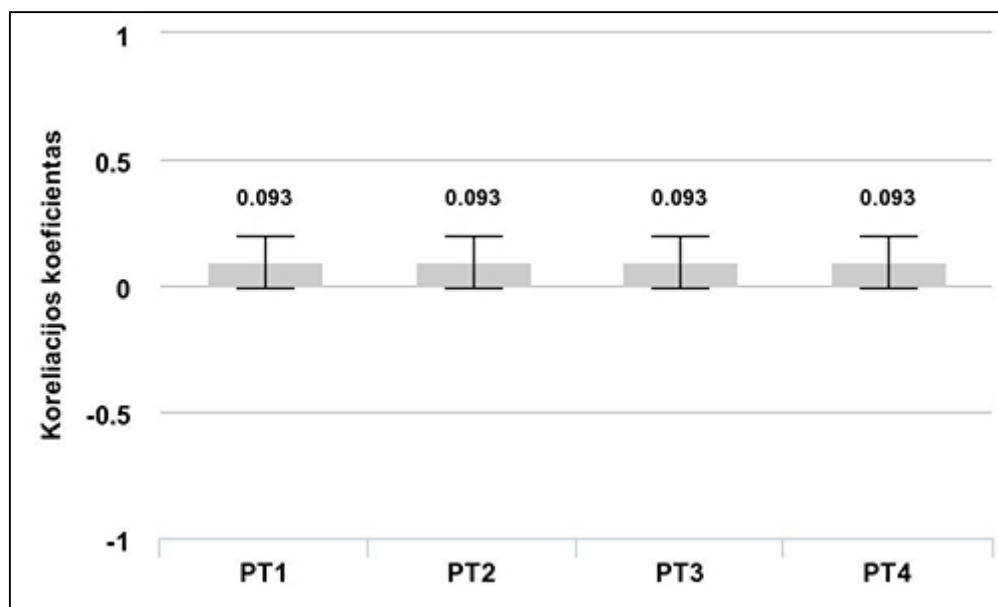
4.7.3. Ketvirtojo periodo koreliacijos ir eksperimentiniai rezultatai

Šiame skyriuje laiko eilutės atitinka akcijų kainas per 364 darbo dienas be laiko poslinkio. Taigi skirtumai tarp prekybos taisyklių yra gerai apibrėžti. Šiame eksperimente toliau tiriama silpna ir neigiama portfelio pelnų priklausomybė nuo akcijų kainų prognozavimo tikslumo, nagrinėjamos tam skirtos koreliacijos.

66 pav. vaizduojamos kainų pokyčių (skirtumų tarp dabartinių ir ankstesnių kainų) ir prognozuojamų kainų paklaidų (kvadratinė arba absoliutinių skirtumų tarp prognozuojamų ir esamų kainų) koreliacijos. Koreliacijos yra teigiamos – tai reiškia, kad kainų pokyčių priklausomybė nuo prognozuojamo tikslumo yra neigiama. Koreliacijos nepriklauso nuo prekybos taisyklių, nes tiek kainų pokyčiai, tiek prognozavimo paklaidos nepriklauso nuo taisyklių. Tai patvirtina keturi identiški stulpeliai 66 pav.

Netikėtas rezultatas – teigiamos kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos. IV periodu teigiamas koreliacijas galima laikyti statistiškai

nereikšmingomis (žr. 66 pav.). Tačiau II ir III periodais (žr. 58 ir 59 pav.) teigiamos koreliacijos statistiškai reikšmingos kai kurioms prekybos taisyklėms.

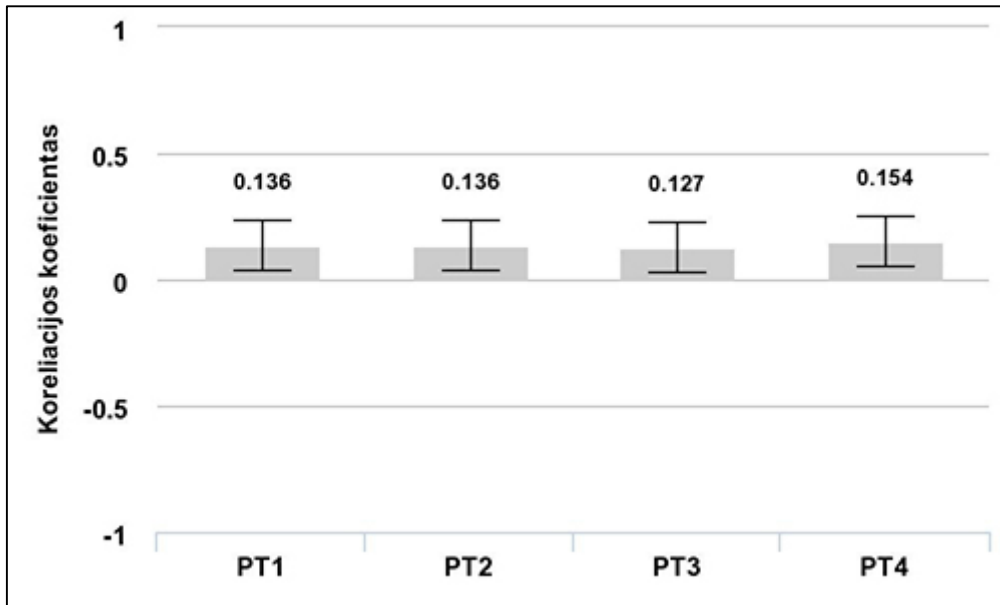


66 pav. *Kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingas prekybos taisykles, IV periodas*

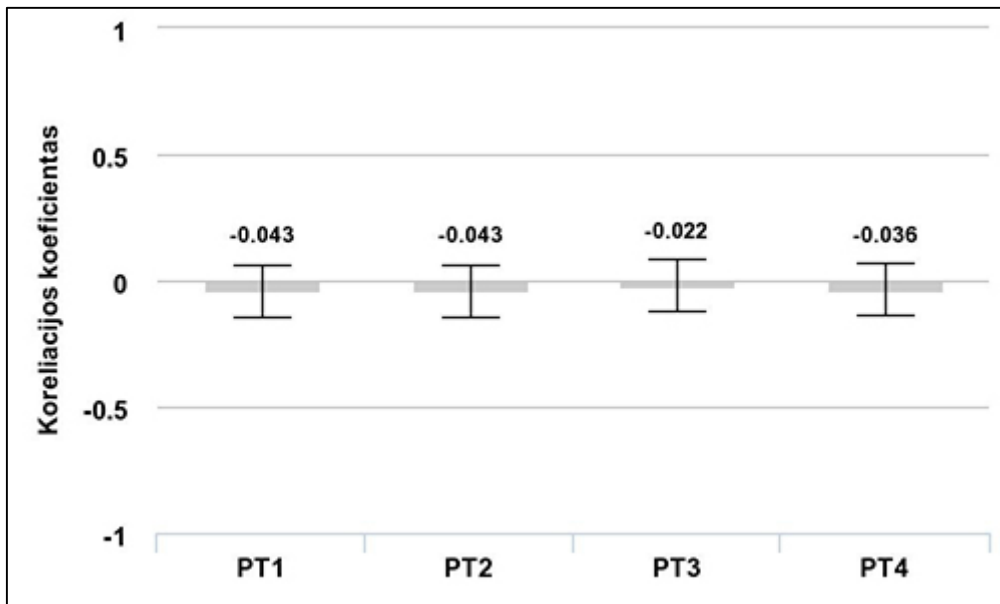
Remiantis 4.8. skyriaus pradžioje pateiktais paaiškinimais, natūralus tokiomis prognozavimo modeliais gautas rezultatas: didesni skirtumai tarp dabartinių ir ankstesnių akcijų kainų duoda didesnes paklaidas. Taigi teigiami akcijų kainų pokyčiai gali duoti didesnes paklaidas, tad gaunami teigiami koreliacijos komponentai tarp akcijų kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų. Jeigu tam tikrose laiko eilutėse vyrauja teigiami komponentai, gaunama koreliacija tarp portfelio pelno ir prognozuojamos paklaidos taip pat yra teigiama, nes pelnas yra vidutiniškai didėjanti kainų pokyčių funkcija.

67 pav. vaizduojamos pelnų ir kainų pokyčių koreliacijos. Visos koreliacijos yra teigiamos, statistiškai reikšmingos ir priklauso nuo prekybos taisyklių. Natūralu – pelnai priklauso nuo prekybos taisyklių ir yra vidutiniškai

didėjančios kainų pokyčių funkcijos. Tačiau tinkamos kainų pokyčių prognozės gaunamos tik palankiomis sąlygomis.



67 pav. Pelnų ir kainų pokyčių koreliacijos taikant skirtingas prekybos taisykles, IV periodas



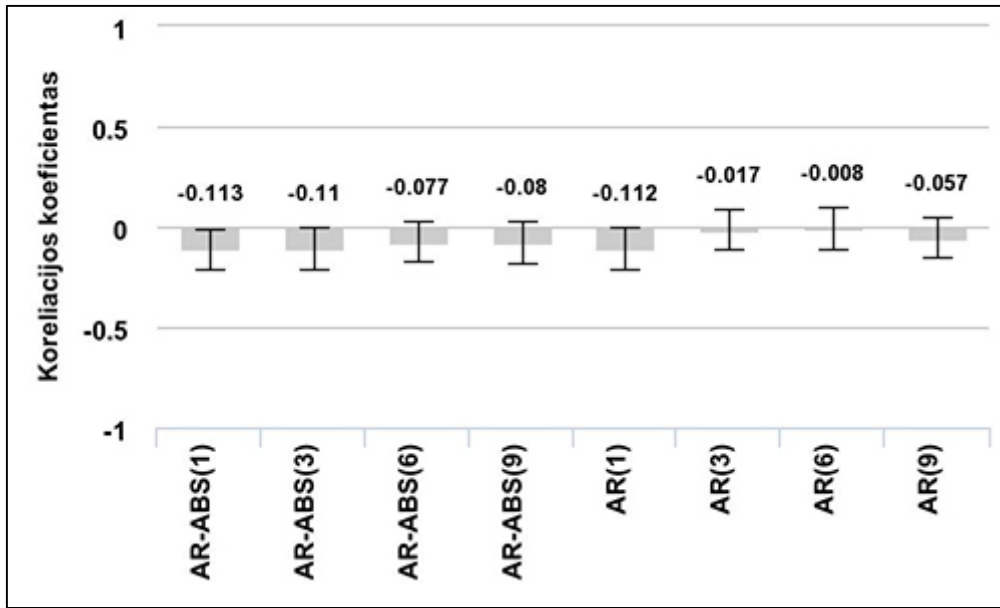
68 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingas prekybos taisykles, IV periodas

68 pav. vaizduojamos pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos. Visos koreliacijos yra neigiamos, tačiau nėra statistiškai reikšmingos. Kitaip nei teigiamų kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijų bei pelnų ir kainų pokyčių koreliacijų atveju, tikėtasi teigiamos pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos. Nelaukta statistiškai nereikšmingos ir neigiamos koreliacijos galbūt gautos dėl skirtingų akcijų ir prognozuojamų modelių sąveikos ir apribojimų, susijusių su tam tikromis prekybos taisyklėmis. 72 pav. vaizduojami koreliacijų skirtumai, gauti taikant skirtingus prognozavimo modelius. 76 pav. matyti, kad trys neigiami kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijų komponentai padidėję dėl didesnių pelnų ir kainų pokyčių koreliacijų.

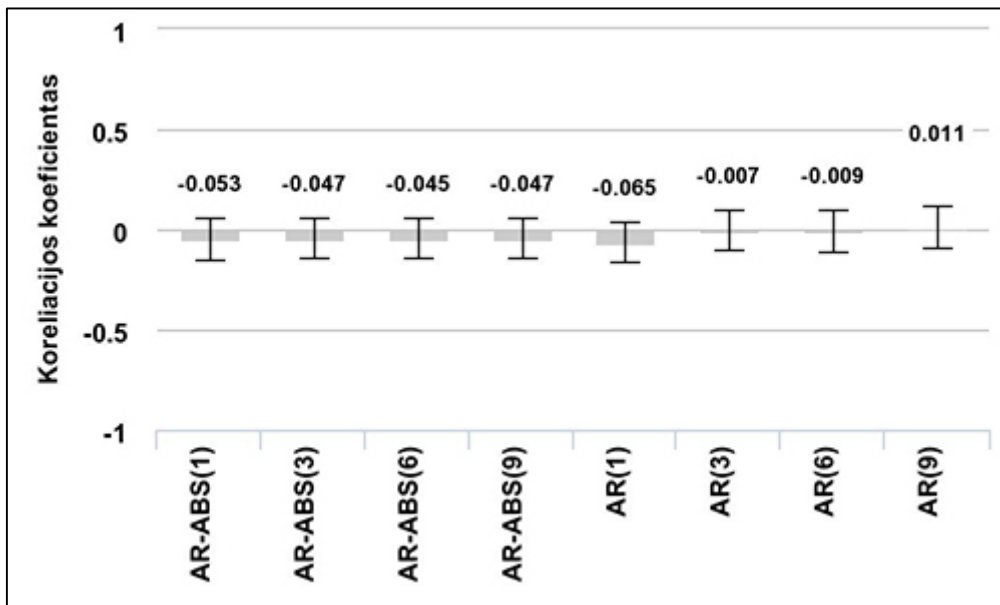
4.7.4. Skirtingų prognozavimo modelių koreliacijos ir eksperimentiniai rezultatai

Portfelio pelnai priklauso nuo prekybos taisyklių, akcijų kainų ir prognozavimo modelių. Ištirti ir pavaizduoti visas priklausomybes kartu nėra patogu. Iki šio skyriaus tirtos priklausomybės nuo prekybos taisyklių ir akcijų kainų, o šiame skyriuje atsižvelgiama ir į skirtingų prognozavimo modelių įtaką.

69 pav. vaizduojamos I periodo kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų (skirtingų akcijų paklaidų vidurkių) koreliacijos taikant PT1. Matyti dvi skirtingos modelių grupės. Pirmai grupei priklauso visi AR-ABS modeliai ir AR(1) modelis, o kiti trys AR($p > 1$) modeliai priklauso antrai grupei. Šios grupės išlieka visais keturiais periodais. Tačiau grupės priklausomai nuo laikotarpio elgiasi skirtingai. Pirmuoju laikotarpiu pirmos grupės koreliacijos dažniausiai statistiškai reikšmingos ir neigiamos, o antros grupės koreliacijos neigiamos, tačiau silpnos ir statistiškai nereikšmingos.



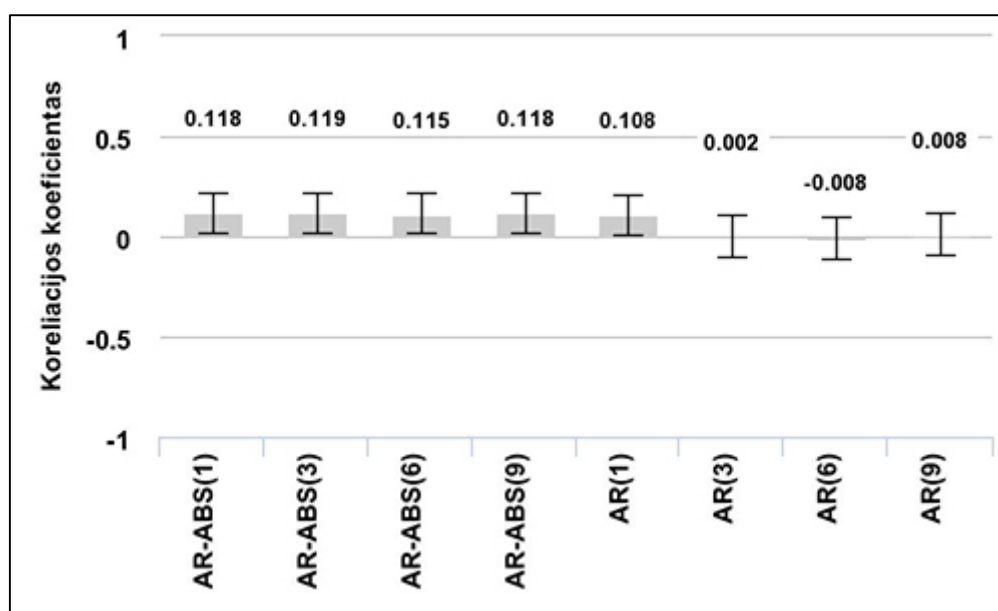
69 pav. Kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius ir PT1, I periodas



70 pav. Kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius ir PT1, II periodas

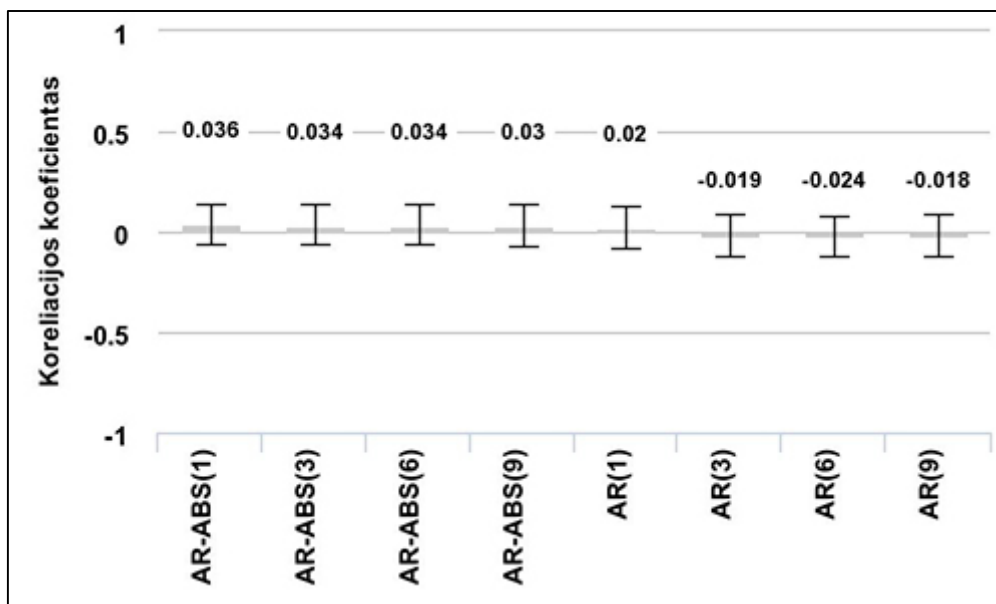
70 pav. vaizduojamos II periodo kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų (skirtingų akcijų paklaidų vidurkių) koreliacijos taikant PT1. Diagrama panaši į I periodo koreliacijų diagramą, skirtumas tik tas, kad visos koreliacijos yra silpnos ir statistiškai nereikšmingos. Vienintelė AR(9) modelio koreliacija yra teigiama, tačiau ji gali būti ignoruojama, nes yra statistiškai nereikšminga.

71 pav. vaizduojamos III periodo kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų (skirtingų akcijų paklaidų vidurkių) koreliacijos taikant PT1. Rezultatas puikiai iliustruoja RW-nenuspėjamumą, nes kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos yra statistiškai reikšmingos ir teigiamos pirmiems penkiems modeliams, laikomiems panašiais į RW modelį. Pažymėtina, kad tikėtasi gauti panašų rezultatą ir I periodu dėl bendro pokrizinio augimo (žr. 3 pav.). Paaiškinimas yra tas, kad III periodu pelnas gautas iš kelių aktyvių akcijų su didelėmis teigiamomis kainų tendencijomis. O štai I periodu aktyviųjų akcijų kainų kitimo tendencijos skyrėsi.



71 pav. Kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius ir PT1, III periodas

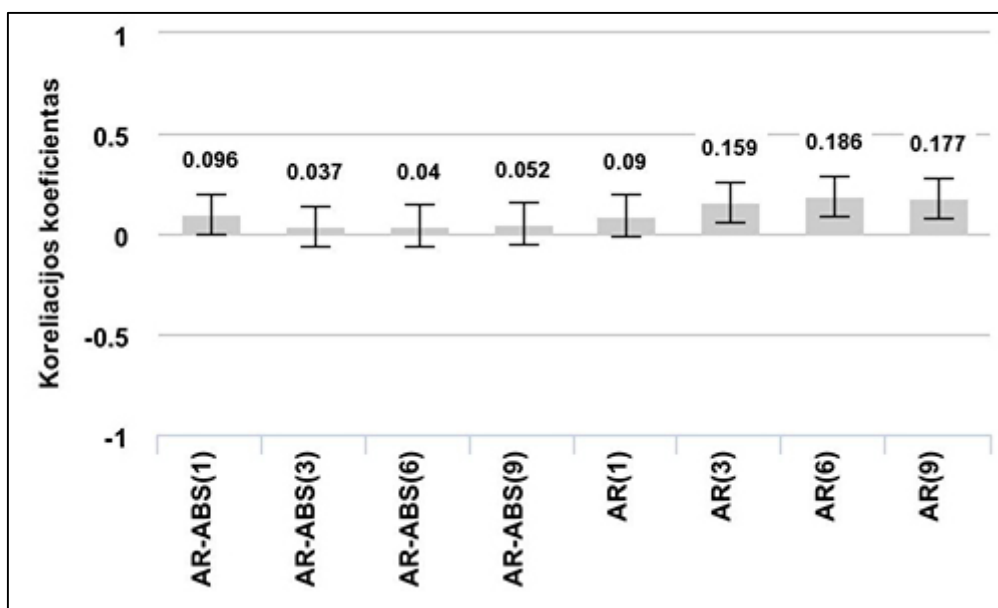
72 pav. vaizduojamos IV periodo kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų (skirtingų akcijų paklaidų vidurkių) koreliacijos taikant PT1. Diagrama panaši į III periodo. Teigiamos koreliacijos gautos su pirmos grupės modeliais, skirtumas tik tas, kad IV periodo koreliacijos statistiškai nereikšmingos.



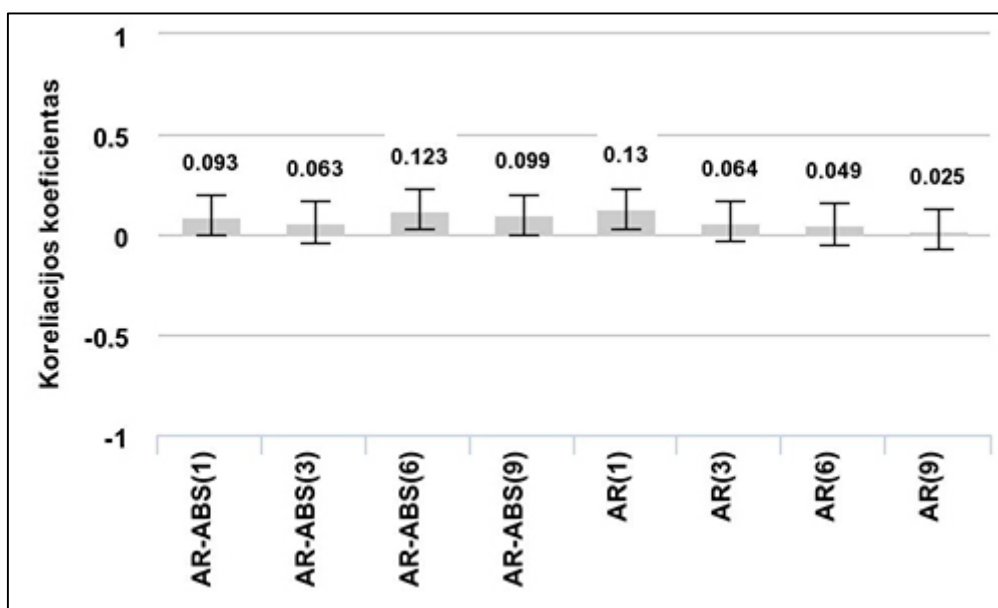
72 pav. Kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius ir PT1, IV periodas

73 pav. vaizduojamos I periodo pelnų (skirtingų akcijų pelnų vidurkių) ir kainų pokyčių koreliacijos taikant PT3. Kaip ir tikėtasi, visos koreliacijos – teigiamos. Tačiau tik antros grupės koreliacijos yra statistiškai reikšmingos. Šis faktas patvirtina, kad pirmai prognozavimo modelių grupei daugiau įtakos nei antrai turi atsitiktiniai veiksniai.

74 pav. vaizduojamos II periodo pelnų (skirtingų akcijų pelnų vidurkių) ir kainų pokyčių koreliacijos taikant PT3. Šioje diagramoje matyti kitokie rezultatai – tik AR-ABS(6) ir AR(1) koreliacijos yra statistiškai reikšmingos.

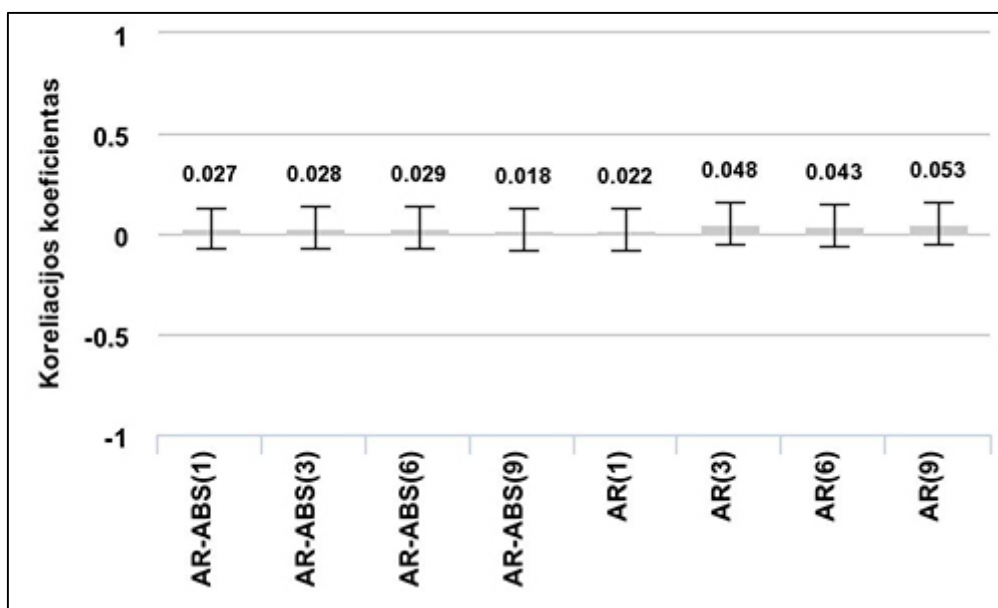


73 pav. Kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius ir PT3, I periodas

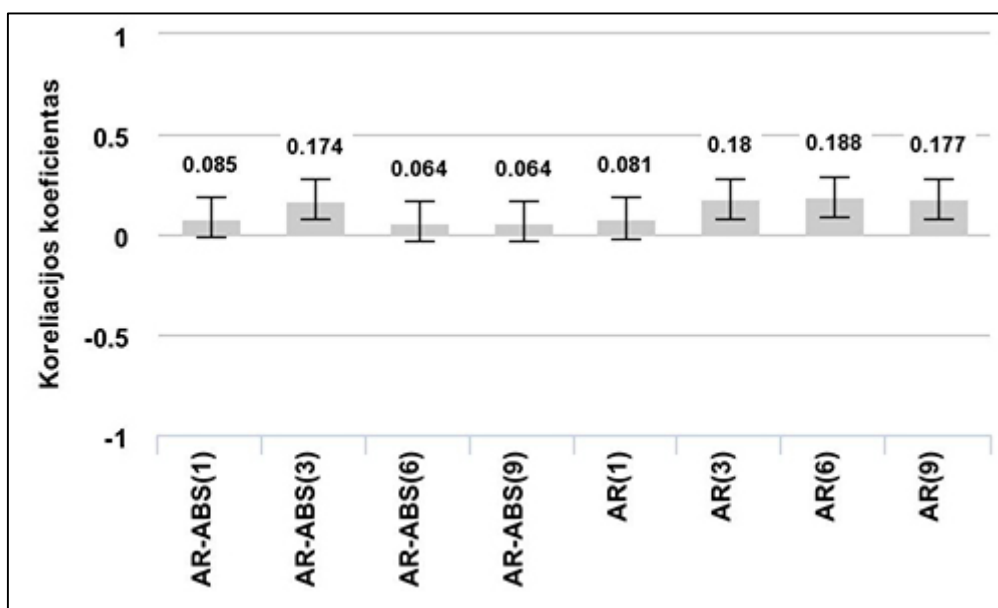


74 pav. Kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius ir PT3, II periodas

75 pav. vaizduojamos III periodo pelnų (skirtingų akcijų pelnų vidurkių) ir kainų pokyčių koreliacijos taikant PT3. Šioje diagramoje visos koreliacijos yra teigiamos, tačiau statistiškai nereikšmingos.



75 pav. Kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius ir PT3, III periodas

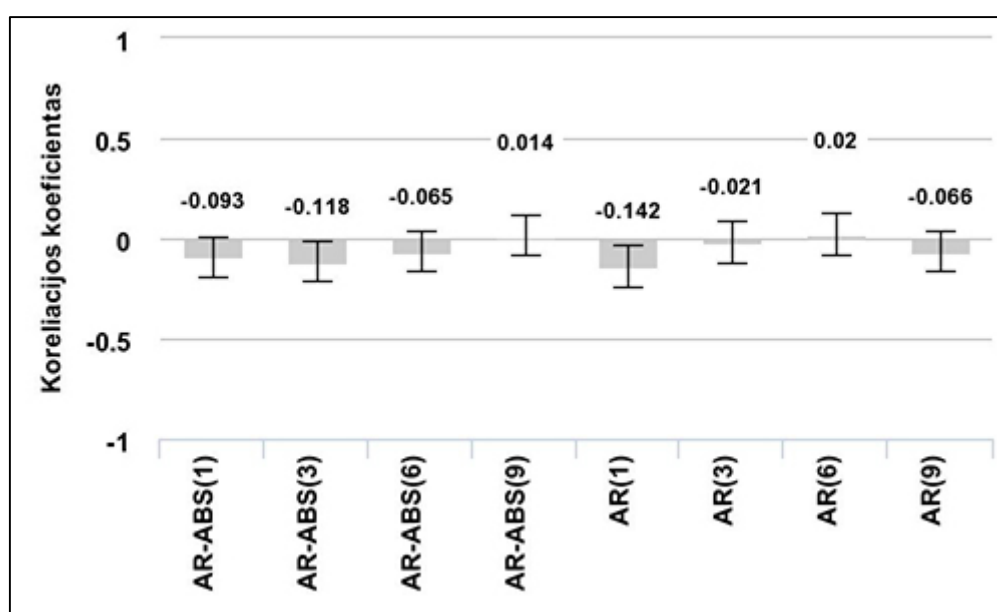


76 pav. Kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius ir PT3, IV periodas

76 pav. vaizduojamos IV periodo pelnų (skirtingų akcijų pelnų vidurkių) ir kainų pokyčių koreliacijos taikant PT3. Ši diagrama panaši į I periodo diagramą (žr. 73pav.). Atkreiptinas dėmesys, kad pelnų ir kainų pokyčių

koreliacijos yra didesnės neigiamoms koreliacijų dedamosioms, vaizduojamoms 72 pav. Tai gali paaiškinti, kodėl, lyginant su 72 ir 80 pav., netikėtai pasikeitė ženklas.

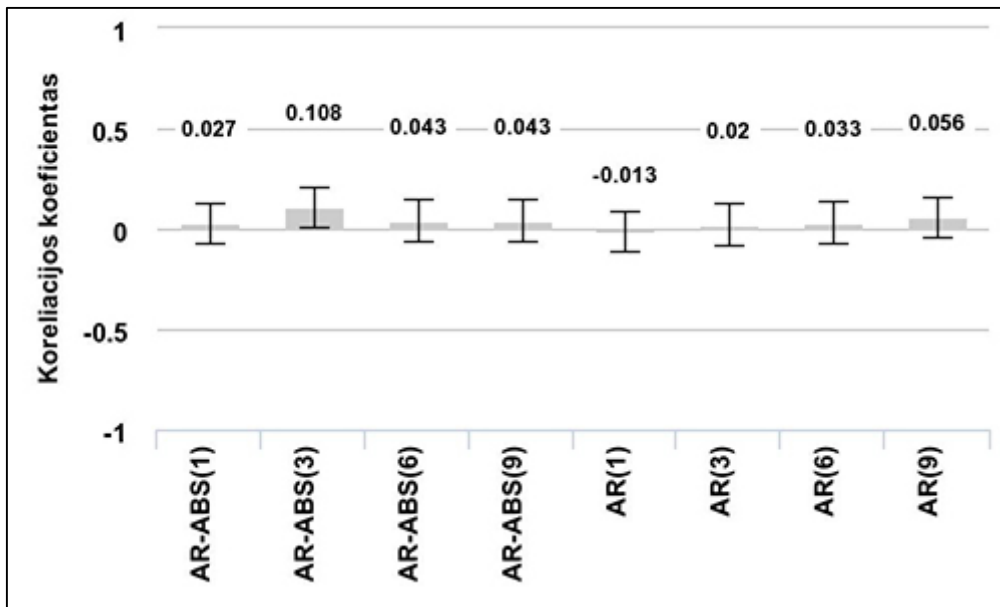
77 pav. vaizduojamos I periodo pelnų ir prognozavimo paklaidų (skirtingų akcijų paklaidų vidurkių) koreliacijos taikant PT3. Nesitikėta tokio rezultato, gauta diagrama skiriasi nuo kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų (žr. 69 pav.). To priežastis – koreliacijos rodo tiesines statistines priklausomybes, tačiau tiek pelnai, tiek prognozavimo paklaidos yra netiesinės funkcijos.



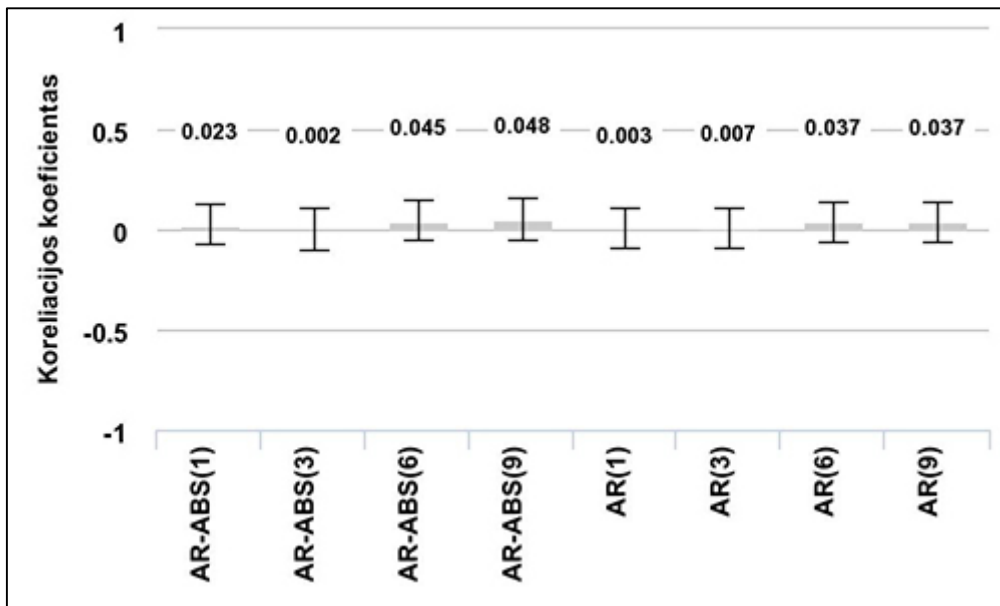
77 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius ir PT3, I periodas

78 pav. vaizduojamos II periodo pelnų ir prognozavimo paklaidų (skirtingų akcijų paklaidų vidurkių) koreliacijos taikant PT3. Ši diagrama vėlgi skiriasi nuo 70 pav. diagramos taip pat dėl netiesiškumo.

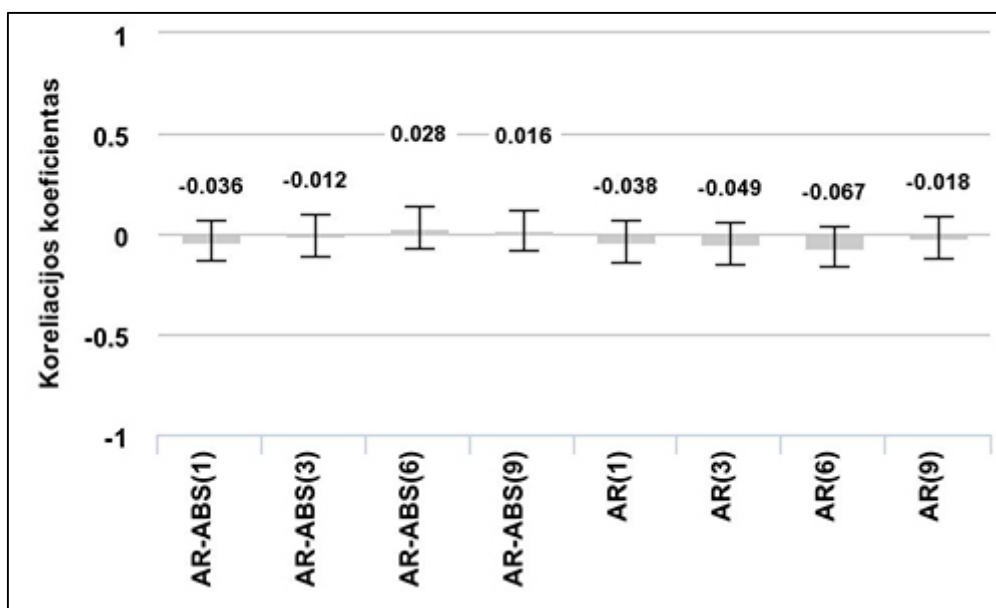
79 pav. vaizduojamos III periodo pelnų ir prognozavimo paklaidų (skirtingų akcijų paklaidų vidurkių) koreliacijos taikant PT3. Ir ši diagrama skiriasi nuo 71 pav. diagramos. Tai patvirtina netiesiškumo svarbą.



78 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius ir PT3, II periodas



79 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius ir PT3, III periodas



80 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius ir PT3, IV periodas

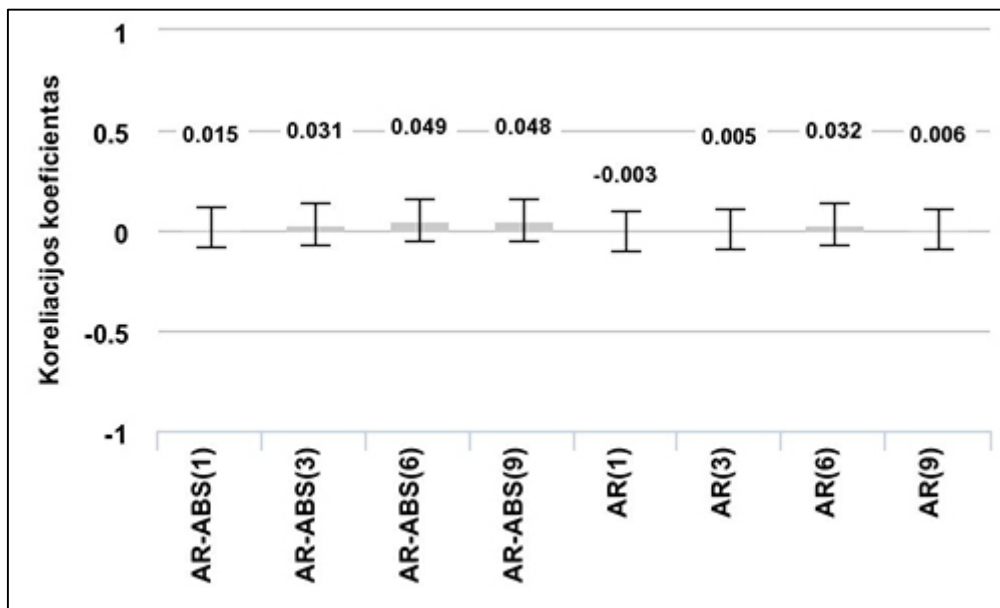
80 pav. vaizduojamos IV periodo pelnų ir prognozavimo paklaidų (skirtingų akcijų paklaidų vidurkių) koreliacijos taikant PT3. Ir ši diagrama skiriasi nuo 72 pav. diagramos dėl netiesiškumo.

4.7.5. Paprasčiausių prekybos taisyklių koreliacijos ir eksperimentiniai rezultatai

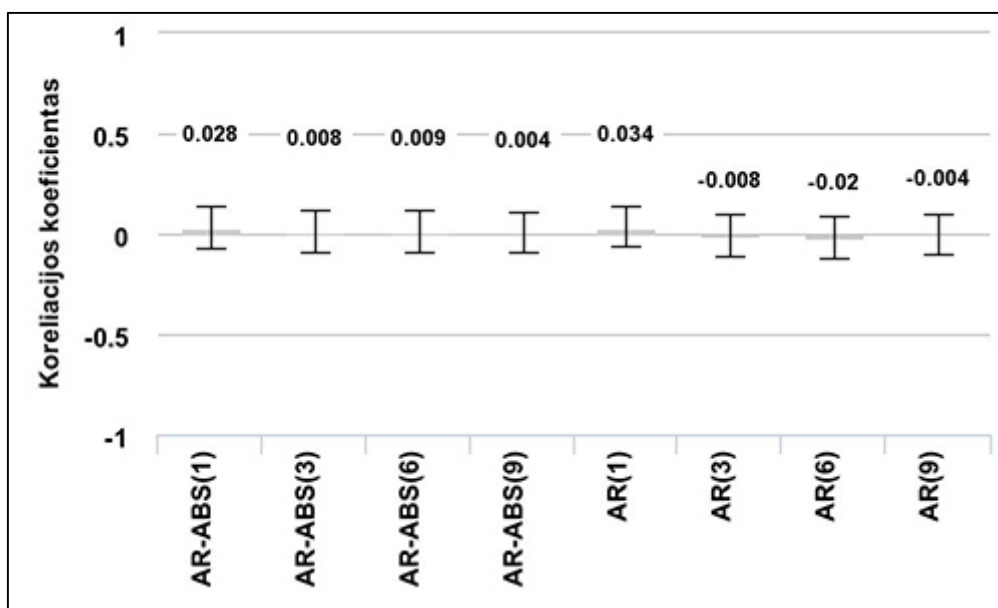
Norint sumažinti netiesiškumo įtaką, ištirtos paprasčiausios prekybos taisyklės, kai prekiaujama trimis pelningumo lygmenimis ir tik vienos firmos akcijomis. Priklausomai nuo numanomo kainos kilimo akcijos pirktos už visą arba dalį kapitalo (nuosavo ir skolinto), o priklausomai nuo numanomo kainos kritimo parduotos visos arba dalis akcijų. Nėra transakcijų išlaidų ir kitų apribojimų. Tokiu atveju, esant ribotam kapitalui ir turimų akcijų kiekiui (visas portfelis yra sudarytas iš vienos firmos akcijų), pelnas yra dalinai tiesinė kainų pokyčių funkcija. Tačiau, pagal apibrėžimą, prognozavimo paklaida yra netiesinė prognozuojamų ir realių kainų skirtumų funkcija. Taigi pagrindinis netiesiškumas išlieka.

81 pav. vaizduojamos I periodo kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų (skirtingų akcijų vidurkių) koreliacijos taikant paprasčiausią prekybos taisyklę. Visos koreliacijos yra statistiškai nereikšmingos ir teigiamos. Jos skiriasi nuo koreliacijų, kai taikamos kitos prekybos taisyklės, šios visos yra neigiamos, iš jų ir kai kurios statistiškai reikšmingos (žr. 69 pav.).

82 pav. vaizduojamos IV periodo kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų (skirtingų akcijų vidurkių) koreliacijos taikant paprasčiausią prekybos taisyklę. Pirmos modelių grupės koreliacijos – teigiamos, o antros – neigiamos, tačiau visos koreliacijos yra statistiškai nereikšmingos. Iš esmės šios koreliacijos panašios į kitų prekybos taisyklių koreliacijas (žr. 72 pav.).

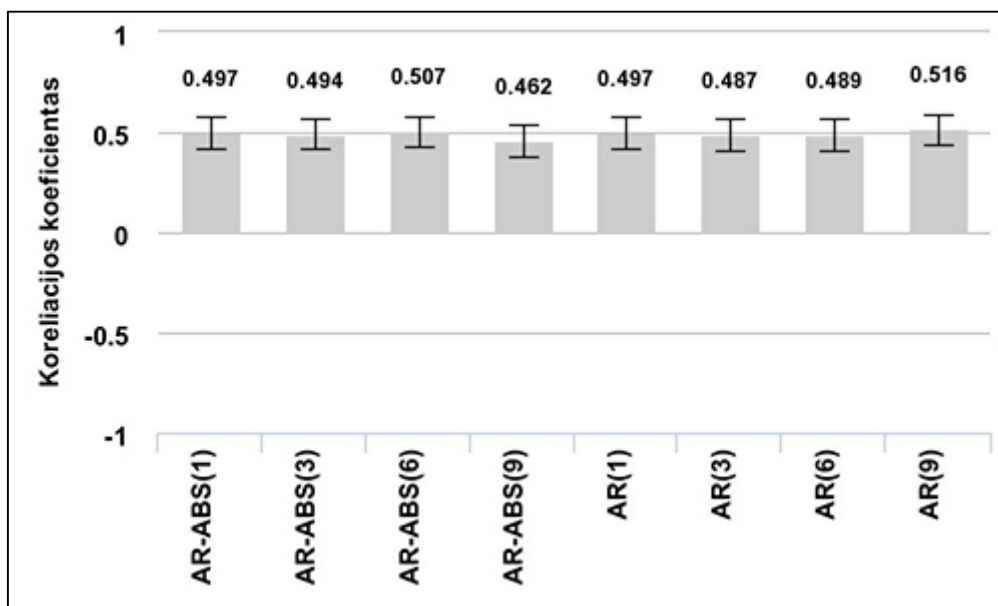


81 pav. Kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius, I periodas



82 pav. Kainų pokyčių ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius, IV periodas

83 pav. vaizduojamos I periodo pelnų (skirtingų akcijų vidurkių) ir kainų pokyčių koreliacijos taikant paprasčiausią prekybos taisyklę. Kaip ir tikėtasi, visos koreliacijos yra statistiškai reikšmingos ir teigiamos.

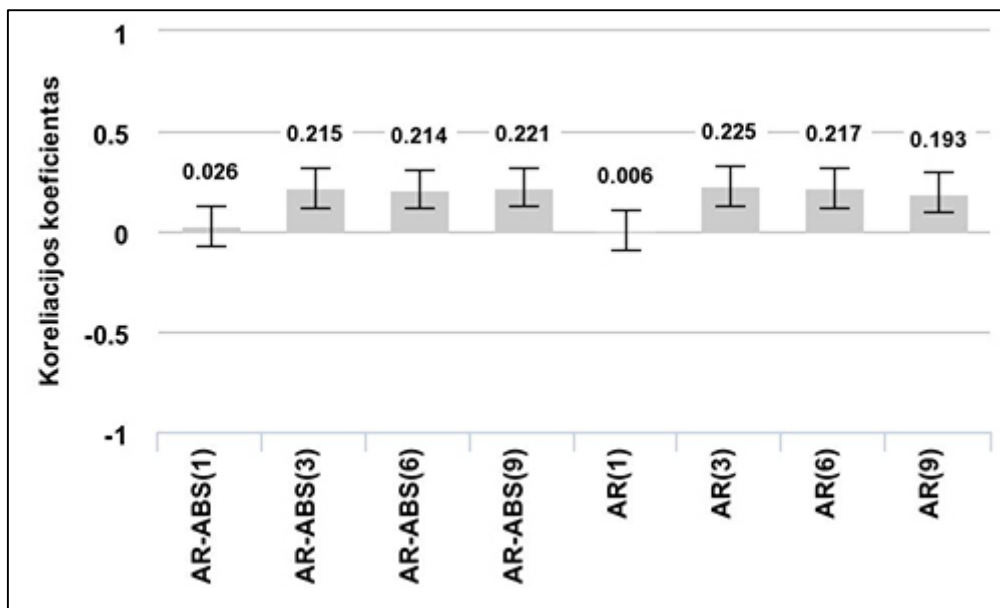


83 pav. Pelnų ir kainų pokyčių koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius, I periodas

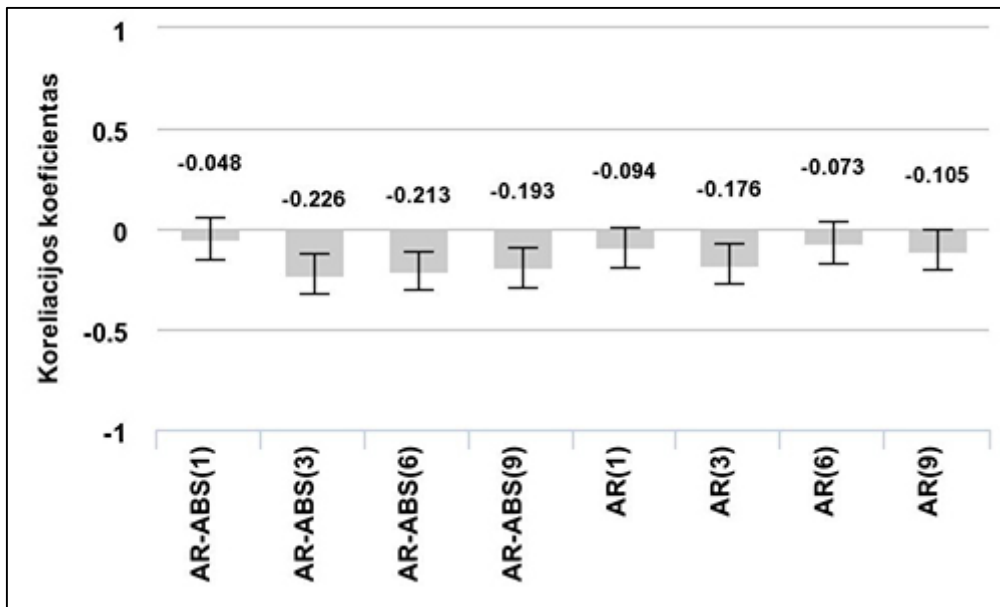
84 pav. vaizduojamos IV periodo pelnų (skirtingų akcijų vidurkių) ir kainų pokyčių koreliacijos taikant paprasčiausią prekybos taisyklę. Diagrama panaši į I periodo diagramą, skirtumas tik tas, kad AR-ABS(1) ir AR(1) modelių koreliacijos yra statistiškai nereikšmingos.

85 pav. vaizduojamos I periodo pelnų ir prognozavimo paklaidų (skirtingų akcijų vidurkių) koreliacijos taikant paprasčiausią prekybos taisyklę. Visos koreliacijos yra neigiamos, keturios iš jų – statistiškai reikšmingos. Tokios pat PT3 koreliacijos (žr. 77 pav.) – taip pat neigiamos, tačiau tik dvi iš jų statistiškai reikšmingos.

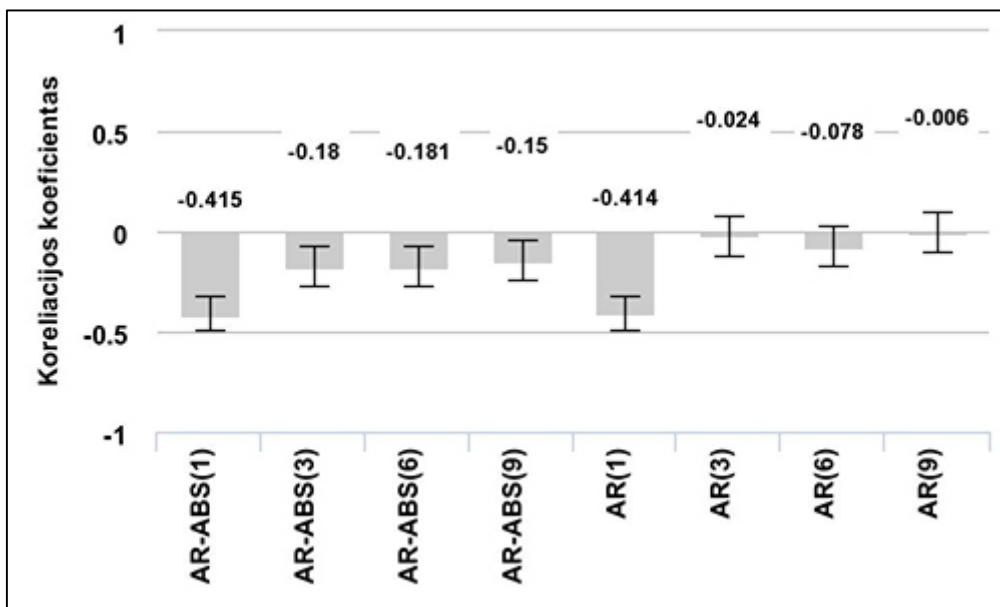
86 pav. vaizduojamos IV periodo pelnų ir prognozavimo paklaidų (skirtingų akcijų vidurkių) koreliacijos taikant paprasčiausią prekybos taisyklę. Dauguma koreliacijų yra statistiškai reikšmingos ir neigiamos, tačiau tokios pat PT3 koreliacijos yra statistiškai nereikšmingos, iš jų ir dvi teigiamos (žr. 80 pav.).



84 pav. Pelnų ir kainų pokyčių koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius, IV periodas



85 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius, I periodas



86 pav. Pelnų ir prognozavimo paklaidų koreliacijos taikant skirtingus prognozavimo modelius, IV periodas

4.8. Ketvirtojo skyriaus išvados

1. Koreliacija tarp portfelio pelno ir akcijų kainos prognozavimo

paklaidos, kai naudojami dieniniai duomenys, yra statistiškai nereikšminga ir tam tikromis sąlygomis teigiama.

2. Portfelio pelno ir akcijų kainų pokyčių koreliacija paprastai yra teigiama ir statistiškai reikšminga.
3. Kainų pokyčių prognozavimas yra patikimas, jeigu akcijų kainų kitimo tendencija yra užtenkamai išreikšta.
4. Bendra 11–44 pav. ypatybė yra ta, kad AR-ABS(p) paklaidos beveik sutampa su AR(1) paklaida ir yra beveik minimalios. Šis AR(1) optimalumas paaiškinamas įprasta efektyvios rinkos teorija, nes AR(1) yra artimas RW. Prastesni AR($p > 1$) modelių rezultatai paaiškinami remiantis persimokymo teorija, kadangi AR modelis minimizuoja kvadratinus nuokrypius ir tiksliau prisitaiko prie ankstesnių duomenų.

5

Bendrosios išvados

Eksperimentinių tyrimų rezultatai leido padaryti šias išvadas:

1. Darbo pagrindinis naujumas – galimybė modelį taikyti prognozavimo uždavinių tyrimams ir paaiškintas empirinis faktas, kad portfelio pelno ir akcijų kainų prognozavimo tikslumo koreliacija yra statistiškai nereikšminga ir gali būti neigiama.
2. Koreliacija tarp portfelio pelno ir akcijų kainos prognozavimo paklaidos, kai naudojami dieniniai duomenys, yra statistiškai nereikšminga todėl, kad pelnas ir prognozavimo paklaida yra skirtingos netiesinės funkcijos. Portfelio pelnas yra didėjanti (vidurkio prasme) kainų pokyčio funkcija, o prognozavimo paklaidos yra kvadratiniai arba absoliutiniai skirtumai tarp dabartinių ir prognozuojamų kainų.
3. Portfelio pelno ir kainų pokyčių koreliacija paprastai yra teigiama ir statistiškai reikšminga.

4. Kainų pokyčių prognozavimas yra patikimas, jeigu akcijų kainų kitimo tendencija yra užtenkamai išreikšta. Kitu atveju, jei nėra papildomos informacijos, kainų pokyčių prognozavimas nėra patikimas, nes akcijų kainos kinta pagal efektyvios rinkos dėsnius, t. y. panašiai kaip ir pagal RW modelį.
5. Trumpalaikiam investavimui svarbus ne tik prognozavimo tikslumas, bet ir jo stabilumas, nes tai mažina visą prekybos operacijų kainą.
6. Nelauktas naujas rezultatas yra tam tikromis sąlygomis gauta teigiama koreliacija tarp pelno ir kainų prognozavimo tikslumo, kai naudojami dieniniai duomenys. IV periodu teigiama koreliacija nėra statistiškai reikšminga, tačiau II ir III periodais ši koreliacija statistiškai reikšminga.
7. Koreliacijos teigiamos, kai taikomi tokie prognozavimo modeliai, kuriais didesni akcijų kainų pokyčiai generuoja didesnes paklaidas ir taip sukuria teigiamas pelno ir kainų prognozavimo paklaidų koreliacijos dedamąsias. Būtent šis faktas paaiškina teigiamas pelno ir kainų prognozavimo paklaidų koreliacijas, nes pelnas yra vidutiniškai didėjanti kainų prieaugio funkcija. Paprasčiausias tokio modelio pavyzdys yra RW modelis, o į jį panašūs yra AR(1) ir AR-ABS(1).
8. Reikėtų toliau atlikti teorinius ir eksperimentinius tyrimus, kad būtų patikslintos priežastys ir sąlygos, kada pelnas yra didėjanti prognozavimo tikslumo funkcija, ir kad būtų nustatyti kiti, be prognozavimo tikslumo, įtakos pelnui turintys veiksniai.

Dauguma šio darbo rezultatų gauti taikant akcijų biržos modelį (virtualią akcijų biržą), atsižvelgiant į tai, kad statistiniai pelno ir paklaidų tyrimai realioje biržoje sunkiai realizuojami – dirbant realiu laiku akcijų kainos nesikartoja.

Literatūra ir šaltiniai

- Ait-Sahalia, Y. & Hansen, L. P., 2009. *Handbook of Financial Econometrics*. Netherlands: North Holland.
- Akerlof, G. A. & Shiller, R. J., 2009. *Animal Spirits: How Human Psychology Drives the Economy, and Why It Matters for Global Capitalism*. Princeton: Princeton University Press.
- Allen, F., 2008. *Market illiquidity and financial instability*, s.l.: Federal Reserve Academic Consultants Meeting on Friday, October 3, 2008 on “Financial Stability and the Linkages between the Financial and Real Sectors”.
- Anderson, E. W., Hansen, L. P. & Sargent, T., 2012. Small noise methods for risk-sensitive/robust economies. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 36(4), p. 468-500 .
- Arellano, M., Hansen, L. P. & Sentana, E., 2012. Underidentification?. *Journal of Econometrics*, 170(2), p. 256–280.
- Bagočius, V., Zavadskas, E. K. & Turskis, Z., 2014. Multi-person selection of the best wind turbine based on the multi-criteria integrated additive-multiplicative utility function. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(4), p. 590-599.
- Bailey, D. H., Borwein, J. M., de Prado, M. L. & Zhu, Q. J., 2014. Pseudo-Mathematics and Financial Charlatanism: The Effects of Backtest Overfitting on Out-of-Sample Performance. *Notices of the American Mathematical Society*, p. 458-471.
- Bernanke, B. S., 2004. *Essays on the Great Depression*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Black, F. & Scholes, M., 1973. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *The Journal of Political Economy*, 81(3), p. 637–654.

- Borovička, J., Hansen, L. P., Hendricks, M. & Scheinkman, J. A., 2011. Risk Price Dynamics. *Journal of Financial Econometrics*, 9(1), p. 3-65.
- Box, G. E. P. & Jenkins, G. M., 1976. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco: Holden-Day.
- Cochrane, J. H., 1997. *Time Series for Macroeconomics and Finance*. Chicago: Graduate School of Business, University of Chicago.
- Dadelo, S., Turskis, Z., Zavadskas, E. K. & Dadelienė, R., 2014. Multi-criteria assessment and ranking system of sport team formation based on objective-measured values of criteria set. *Expert Systems with Applications*, 41(14), p. 6106–6113.
- Darley, V. & Outkin, A. V., 2007. *Nasdaq Market Simulation: Insights on a Major Market from the Science of Complex Adaptive Systems*. Hackensack, New Jersey: World Scientific Publishing Company.
- Engle, R. & Kroner, K. F., 1995. Multivariate Simultaneous Generalized ARCH. *Econometric Theory*, p. 122-150.
- Fama, E. F., 1970. Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, 25(2), p. 383-417.
- Fama, E. F., 1995. Random Walks in Stock Market Prices. *Financial Analysts Journal*, p. 75-80.
- Fishburn, P. C., 1964. *Decision and Value Theory*. New York: John Wiley & Sons, Inc..
- Greenspan, A., 2009. *Market crisis 'will happen again'*. [interaktyvus] Prieiga: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/8244600.stm> [Žiūrėta 2013 10 25].
- Hansen, L. P., 2012. Dynamic Valuation Decomposition Within Stochastic Economies. *Econometrica*, 80(3), p. 911-967.
- Hansen, L. P., 2012. Proofs for large sample properties of generalized method of moments estimators. *Journal of Econometrics*, 170(2), p. 325–330.
- Hansen, L. P., 2013. Risk Pricing over Alternative Investment Horizons. *Handbook of the Economics of Finance*, 2(B), p. 1571–1611.
- Hansen, L. P. & Sargent, T. J., 2007. *Robustness*. Princeton: Princeton University Press.
- Hansen, L. P. & Sargent, T. J., 2011. Robustness and ambiguity in continuous time. *Journal of Economic Theory*, 146(3), p. 1195–1223.
- Hansen, L. P. & Scheinkman, J. A., 2012. Pricing growth-rate risk. *Finance Stoch*, 16(1), p. 1-15.
- Hansen, L. P. & Scheinkman, J. A., 2012. Recursive utility in a Markov environment with stochastic growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(30), p. 11967–11972.
- Katin, I., 2014. *On Development and Investigation of Stock-Exchange Model*. Vilnius: Vilnius University.
- Khashei, M. & Bijari, M., 2010. An artificial neural network (p, d, q) model for timeseries forecasting. *Expert Systems with Applications*, p. 479-489.
- Krugman, P., 1996. *The Self Organizing Economy*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Krugman, P., 2000. *Currency Crises (National Bureau of Economic Research Conference Report)*. Chicago: University of Chicago Press.

- Krugman, P., 2008. *The Return of Depression Economics and the Crisis of 2008*. New York: W. W. Norton & Company.
- Krugman, P., 2009. The Increasing Returns Revolution in Trade and Geography. *American Economic Review*, 99(3), p. 561–571.
- Krugman, P., 2012. *End This Depression Now!*. United States: W. W. Norton & Company.
- Markowitz, H. M., 1952. Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), p. 77-91.
- Markowitz, H. M., 1959. *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments*. New York: John Wiley & Sons, Inc..
- Merton, R. C., 1971. *Theory of Rational Option Pricing*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Merton, R. C., 1972. An Analytic Derivation of the Efficient Portfolio Frontier. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 7(4), p. 1851-1872.
- Mockus, J., 2003. Stock exchange game model as an example for graduate level distance studies. *Computer Applications in Engineering Education*, p. 229-237.
- Mockus, J., 2006. Investigation of Examples of E-Education Environment for Scientific Collaboration and Distance Graduate Studies, Part 1. *Informatica*, 17(2), p. 259-278.
- Mockus, J., 2010. On Simulation of Optimal Strategies and Nash Equilibrium in the Financial Market Context. *Journal of Global Optimization*, p. 129-143.
- Mockus, J., 2012. On Simulation of the Nash Equilibrium in the Stock Exchange Contest. *Informatica*, p. 77-104.
- Mockus, J., 2014. *Global Optimization*. [interaktyvus] Prieiga: <http://optimum2.mii.lt> [Žiūrėta 2014 01 18].
- Mockus, J. et al., 1997. *Bayesian Heuristic Approach to Discrete and Global Optimization*. Dordrecht-London-Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Mockus, J., Katin, I. & Katina, J., 2014. On the Optimization of Investment Strategies in the Context of Virtual Financial Market by the Individual Approach to Risk. 25(2).
- Mockus, J. & Raudys, A., 2010. On the Efficient-Market Hypothesis and stock exchange game model. *Expert Systems With Applications*, p. 5673-5681.
- Nash, J., 1951. Non-Cooperative Games. *The Annals of Mathematics*, 54(2), p. 286-295.
- Scholes, M. S., 1998. Derivatives in a Dynamic Environment. *American Economic Review*, 88(3), p. 350-370.
- Sharpe, W. F., 1963. A Simplified Model for Portfolio Analysis. *Management Science*, 9(2), p. 277-293.
- Sharpe, W. F., 1964. Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. *The Journal of Finance*, 19(3), p. 425-442.
- Sharpe, W. F., 1966. Mutual Fund Performance. *The Journal of Business*, 39(1), p. 119–138.
- Sharpe, W. F., 1994. The Sharpe Ratio. *The Journal of Portfolio Management*, 21(1), p. 49-58.
- Sharpe, W. F., 2000. *Portfolio Theory and Capital Markets*. s.l.:McGraw-Hill Trade.
- Sharpe, W. F., 2007. Expected Utility Asset Allocation. *Financial Analysts Journal*, 63(5), p. 18-30.

- Shen, D. & Lu, Z., 2006. *Computation of Correlation Coefficient and Its Confidence Interval in SAS*. San Francisco, California, SAS Institute Inc..
- Shiller, R. J., 1989. *Market Volatility*. Cambridge: The MIT Press.
- Shiller, R. J., 1998. *Macro Markets: Creating Institutions for Managing Society's Largest Economic Risks*. Oxford: Oxford University Press.
- Shiller, R. J., 2007. Low Interest Rates and High Asset Prices: An Interpretation in Terms of Changing Popular Economic Models. *Brookings Papers on Economic Activity*, 38(2), p. 111-134.
- Shiller, R. J., 2008. *The Subprime Solution: How Today's Global Financial Crisis Happened, and What to Do about It*. Princeton: Princeton University Press,.
- Shiller, R. J., 2009. *Irrational Exuberance*. Princeton: Princeton University Press.
- Wilmott, P., 2007. *Introduces Quantitative Finance*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Ltd.

Autoriaus publikacijų sąrašas disertacijos tema

Straipsniai recenzuojamuose periodiniuose mokslo žurnaluose

- A 1. J. Mockus, I. Katin, J. Katina. On experimental investigation of the web-based stock-exchange model. Lietuvos matematikos rinkinys. LMD darbai. 2012, t. 53, ser. A. ISSN 0132-2818, p. 123–128.
- A 2. J. Mockus, J. Katina, I. Katin. On autoregressive moving-average models as a tool of virtual stock-exchange: experimental investigation. Lietuvos matematikos rinkinys. LMD darbai. 2012, t. 53, ser. A. ISSN 0132-2818, p. 129–134.
- A 3. J. Mockus, I. Katin, J. Katina. On the experimental investigation of investment strategies in the real and virtual financial markets. Informacijos mokslai / Vilniaus universitetas. 2013, t. 65. ISSN 1392-0561, p. 103–110.

- A 4. J. Mockus, I. Katin, J. Katina. On the Optimization of Investment Strategies in the Context of Virtual Financial Market by the Individual Approach to Risk. *Informatica / Matematikos ir informatikos institutas*. 2014, vol. 25, no. 2. ISSN 0868-4952, p. 241–264.

Straipsniai kituose mokslo leidiniuose

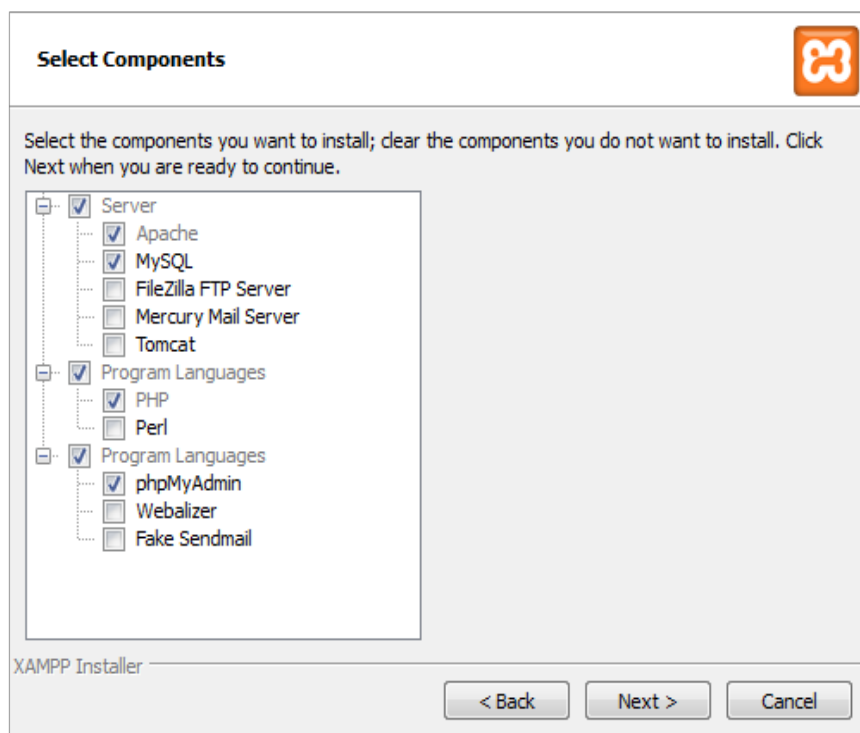
- A 1. J. Mockus, I. Katin, J. Katina. On stochastic simulation of stock-exchange. *Lietuvos matematikos rinkinys. STOPROG 2012: Stochastic programming for implementation and advanced applications: proceedings of international workshop, July 3-6, 2012, Lithuania*. ISBN 9786099524146, p. 83–87.

Priedai

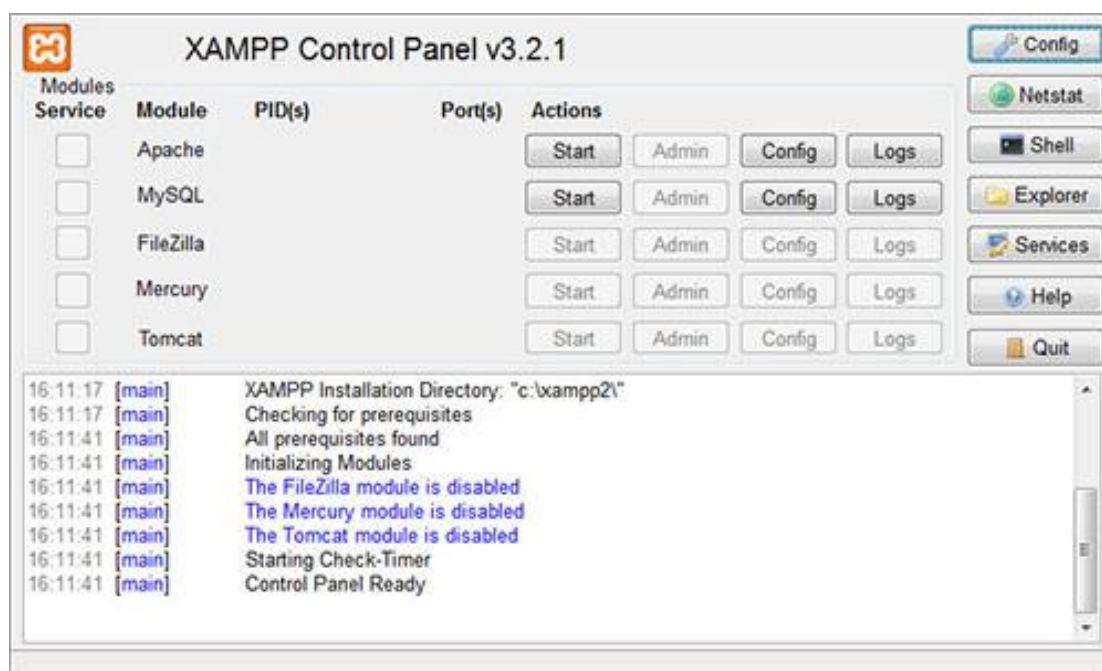
Priedas A. PORTFOLIO modelio vartotojo instrukcija

Ši instrukcija parengta Windows operacinei sistemai. Panašiai programa paleidžiama ir Linux bei OS X operacinėse sistemose.

Žingsnis 1: XAMPP instaliavimas. Šiam žingsniui įvykdyti reikia atsisiųsti nemokamą XAMPP programinę įrangą iš <https://www.apachefriends.org> tinklalapio ir ją paleisti. Pirmame lange reikia spausti „Next“ mygtuką. Kitame lange reikia pažymėti Apache, MySQL, PHP ir phpMyAdmin komponentus (žr. 1 pav.).



1 pav. XAMPP komponentų pasirinkimas



2 pav. XAMPP Control Panel langas

Kitame lange reikia nurodyti katalogą, į kurį įdiegti XAMPP paketą, pagal

nutylėjimą nurodytas C:\xampp katalogas. Toliau pasirodo užklausa, ar norite, kad būtų įdiegtas Bitnami įrankis. Atsisakykite šio įrankio, kadangi jis nereikalingas šiam projektui. Netrukus jūsų kompiuteryje bus įdiegtas XAMPP paketas. Paspauskite „Finish“ mygtuką – atsidarys XAMPP Control Panel langas (žr. 2 pav.).

Pasirinkite „Netstat“ mygtuką ir patikrinkite, kad 80 ir 3306 prievadai (angl. *port*) būtų laisvi.

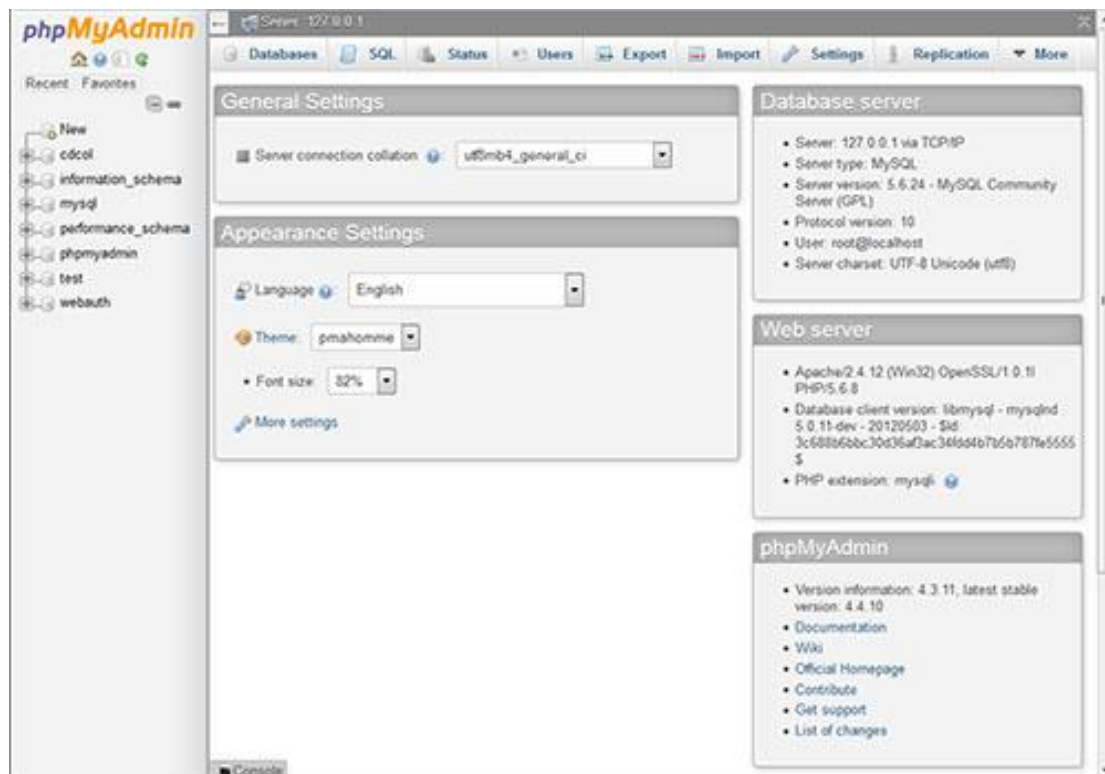
Jeigu 80 prievadas nėra laisvas, spauskite prie Apache modulio esantį „Config“ mygtuką, pasirinkite Apache (httpd.conf), atsidariusiame faile suraskite eilutę „Listen 80“ ir vietoje 80 įrašykite kitą laisvą prievadą, pvz., 90.

Jeigu 3306 prievadas nėra laisvas, spauskite prie MySQL modulio esantį „Config“ mygtuką, pasirinkite my.ini, atsidariusiame faile suraskite eilutę „port = 3306“ ir vietoje 3306 įrašykite kitą laisvą prievadą.

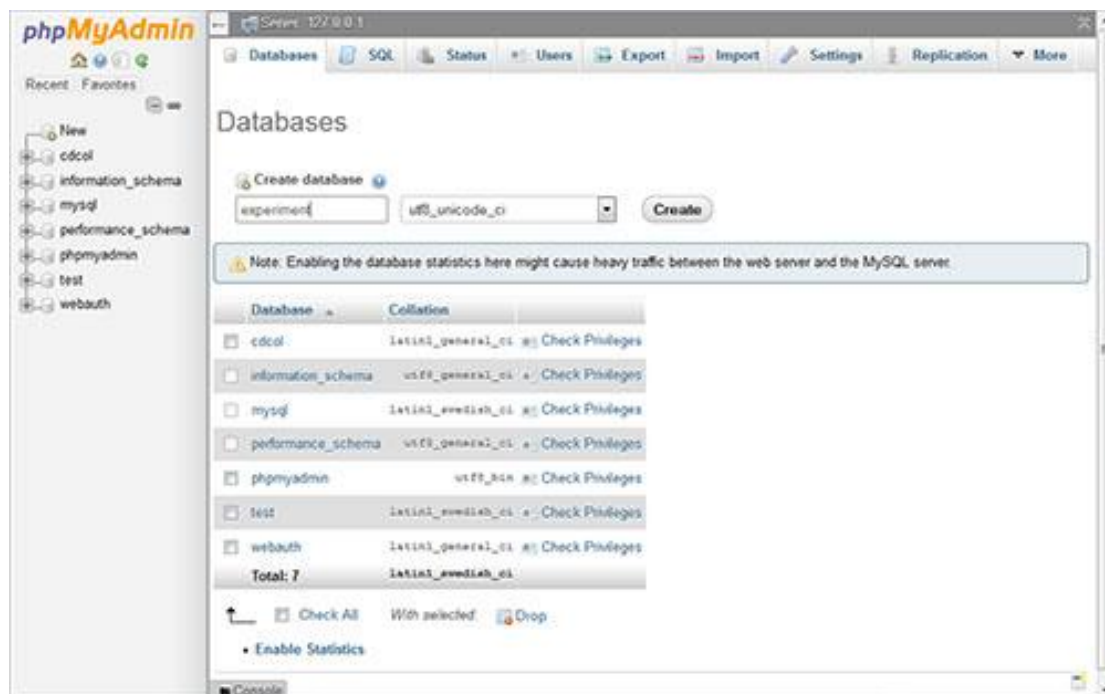
Jeigu 80 ir 3306 prievadai yra laisvi, spauskite prie Apache ir MySQL modulių esančius „Start“ mygtukus – moduliai turi užsidegti žaliai.

Žingsnis 2: phpMyAdmin paleidimas. Jei nepakeitėte Apache prievado, bet kurioje Interneto naršyklėje atidarykite <http://localhost/phpmyadmin/> nuorodą. Jei, pvz., 80 prievadą pakeitėte į 90 prievadą, atidarykite <http://localhost:90/phpmyadmin/> nuorodą. Interneto naršyklės lange pasileis phpMyAdmin vartotojo sąsaja (žr. 3 pav.).

Žingsnis 3: Duomenų bazės (pvz., „experiment“) sukūrimas. Pasirinkite „Databases“, įrašykite jos pavadinimą „experiment“, pasirinkite reikiamą koduotę (utf8_unicode_ci) ir spauskite mygtuką „Create“ (žr. 4 pav.).



3 pav. *phpMyAdmin* vartotojo sąsaja



4 pav. Duomenų bazės „experiment“ sukūrimas

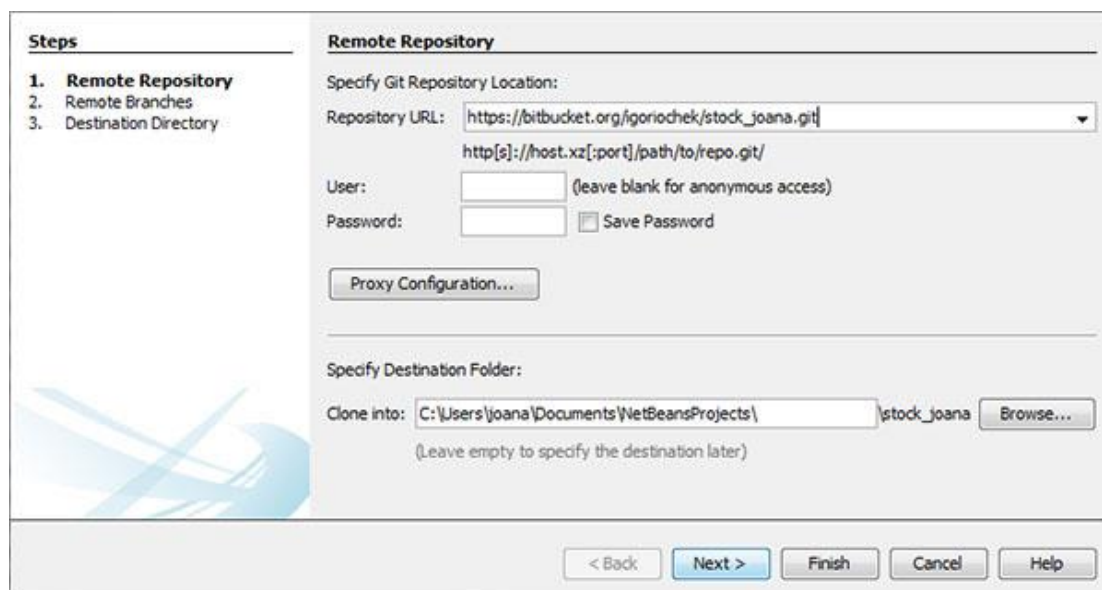
Sukurta nauja „experiment“ duomenų bazė atsiras kairėje phpMyAdmin pusėje esančiame duomenų bazių sąrašė. Jeigu duomenų bazė neatsirado, vadinasi, įvyko klaida, ji bus nurodyta dešinėje lango pusėje. Ištaisykite klaidą ir pakartokite 3 žingsnį.

Žingsnis 4: Java įdiegimas. Jei norite dirbti su PORTFOLIO modeliu, jūsų kompiuteris turi palaikyti Java kalbą. Iš <https://java.com> tinklalapio nemokamai atsisiųskite jūsų kompiuteriui skirtą Java versiją. Sistema automatiškai atpažįsta jūsų naudojamą operacinę sistemą ir pasiūlo atsisiųsti reikalingą versiją. Paleiskite ją ir įdiekite savo kompiuteryje nekeisdami numatytųjų parametrų.

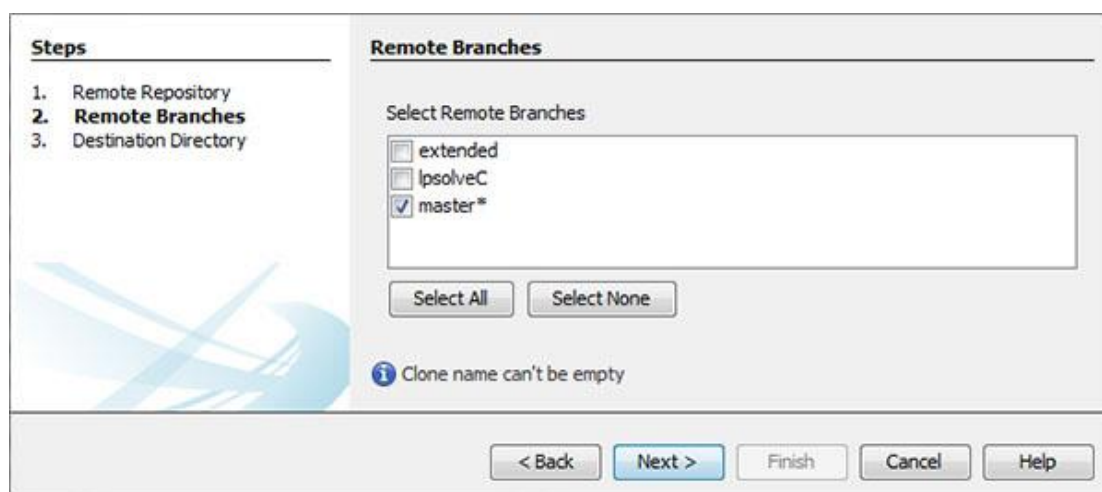
Žingsnis 5: NetBeans įdiegimas. NetBeans yra laisva, atviro kodo aplinka, skirta programoms kurti Java kalba. Pritaikyta visoms populiariausioms operacinėms sistemoms. Atsisiųskite NetBeans Java SE versiją iš <https://netbeans.org> svetainės ir įdiekite ją savo kompiuteryje nekeisdami numatytųjų parametrų.

Žingsnis 6: Projekto įkėlimas į NetBeans aplinką. Atsidarykite NetBeans ir pasirinkite Team->Git->Clone... komandą, atsidariusiame lange Repository URL lauke įveskite Git saugyklos adresą https://bitbucket.org/igoriochek/stock_joana.git, kaip parodyta 5 pav. Spauskite „Next“ mygtuką.

Sekančiame lange pažymėkite master* nuotolinę šaką (žr. 6 pav.) ir spauskite “Next” mygtuką.



5 pav. Git saugyklos adreso nurodymas NetBeans aplinkoje

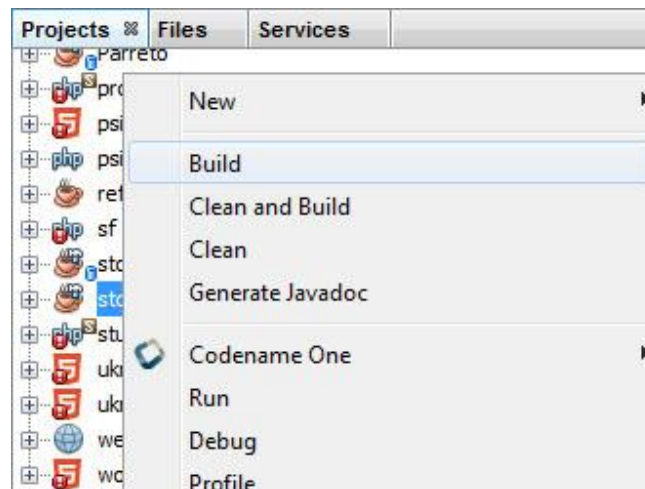


6 pav. Git nuotolinės šakos pasirinkimas NetBeans aplinkoje

Kitame lange nurodykite katalogą, kuriame norėsite išsaugoti projektą ir spauskite „Finish“ mygtuką, projektas bus nukopijuotas į jūsų kompiuterį.

Žingsnis 7: Projekto kompiliavimas ir paleidimas. NetBeans projektų sąrašė suraskite „stock“ projektą, spauskite ant jo dešiniu pelės klavišu ir iš pradžių pasirinkite „Build“ komandą, palaukite, kol projektas bus sukompiliuotas, ir spauskite tame pačiame meniu esančią „Run“ komandą (žr.

7 pav.).



7 pav. Projekto kompiliavimas ir paleidimas NetBeans aplinkoje

Paleidę programą matysite akcijų nustatymų langą (Stock preferences), kaip parodyta 8 pav. Šiame lange „Choose stock count“ lauke galite pasirinkti akcijų skaičių – lango apačioje bus nurodyti kiekvienos akcijos nustatymai. Kiekvienai akcijai „Choose data“ lauke galite pasirinkti, ar automatiškai generuoti duomenis (Generated data) ar imti realius duomenis iš <http://finance.yahoo.com> tinklalapio (Real data).

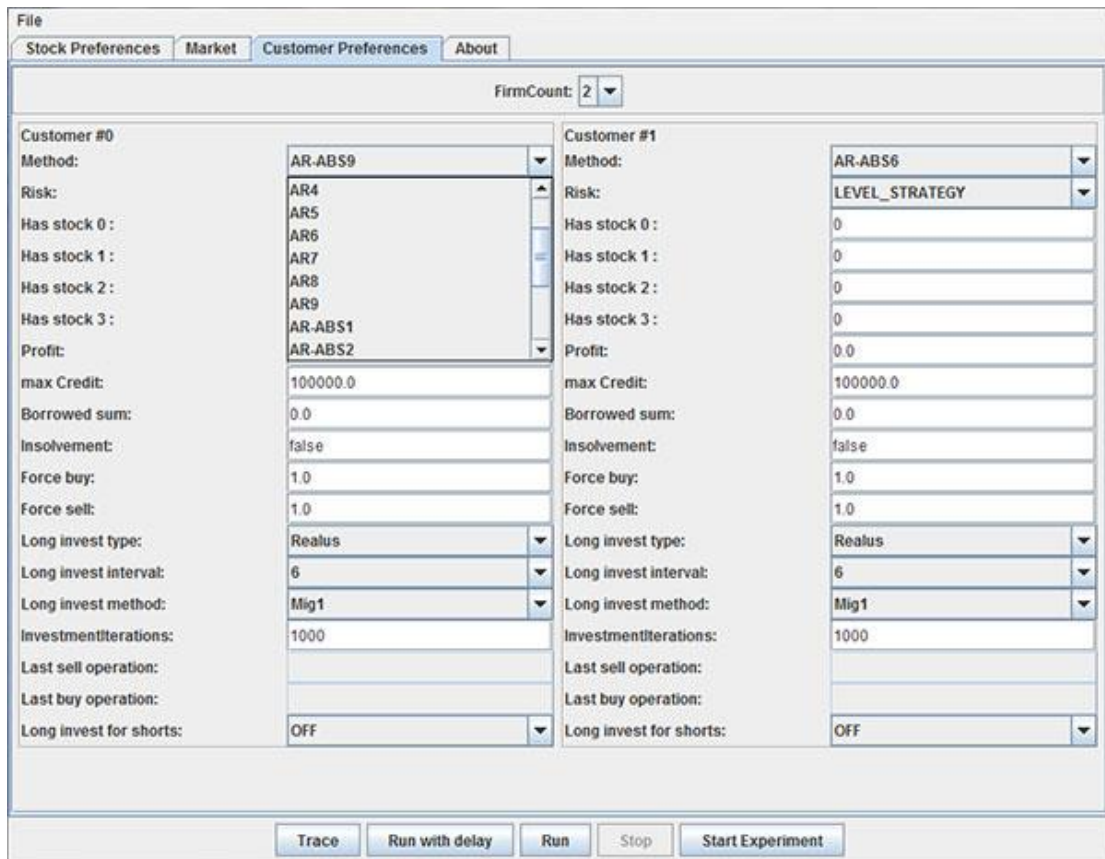
The screenshot shows a software interface for configuring stock market simulation parameters. The main window is titled 'File' and contains several tabs: 'Stock Preferences', 'Market', 'Customer Preferences', and 'About'. The 'Stock Preferences' tab is selected and contains the following settings:

- Setting for all stocks:**
 - Yield of CD: 0.02
 - Bank interest: 0.1
 - Start from day: 1
 - Random type: seed
 - Period of real data: day
 - Day in month: 30
 - Transaction cost: 0.1
 - Limit X: 1000.0
 - Termin: 365
 - Choose stock count: 4
 - Prediction data length: 0
- Stock options (MSFT):**
 - Volatility: 0.9
 - Dividend: 0.23
 - Inertia: 0.5
 - Bankrupt prob: 0.5
 - Choose data: Generated data
 - Stock name: MSFT
- Stock options (NOK):**
 - Volatility: 0.9
 - Dividend: 3.05
 - Inertia: 0.5
 - Bankrupt prob: 0.5
 - Choose data: Generated data
 - Stock name: NOK
- Stock options (GOOG):**
 - Volatility: 0.9
 - Dividend: 0.0
 - Inertia: 0.5
 - Bankrupt prob: 0.5
 - Choose data: Generated data
 - Stock name: GOOG
- Stock options (unnamed):**
 - Volatility: 0.9
 - Dividend: 0.263
 - Inertia: 0.5
 - Bankrupt prob: 0.5
 - Choose data: Generated data
 - Stock name: NOK

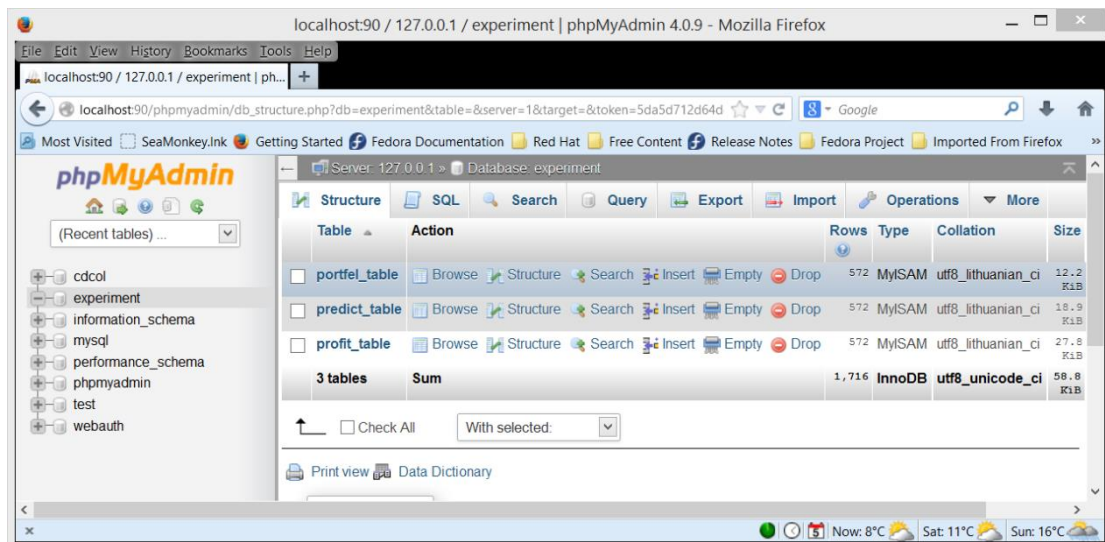
At the bottom of the dialog, there are five buttons: 'Trace', 'Run with delay', 'Run', 'Stop', and 'Start Experiment'.

8 pav. Akcijų biržos modelis, akcijų parametrų nustatymų langas

Akcininkų parametrų nustatymų lange (Customer preferences) galite pasirinkti akcininkų skaičių (Firm count), jų prekybos taisykles (Risk) ir prognozavimo modelius (Method). 9 pav. parodytas dviejų akcininkų pasirinkimas.



9 pav. Akcijų biržos modelis, akcininkų parametru nustatymų langas

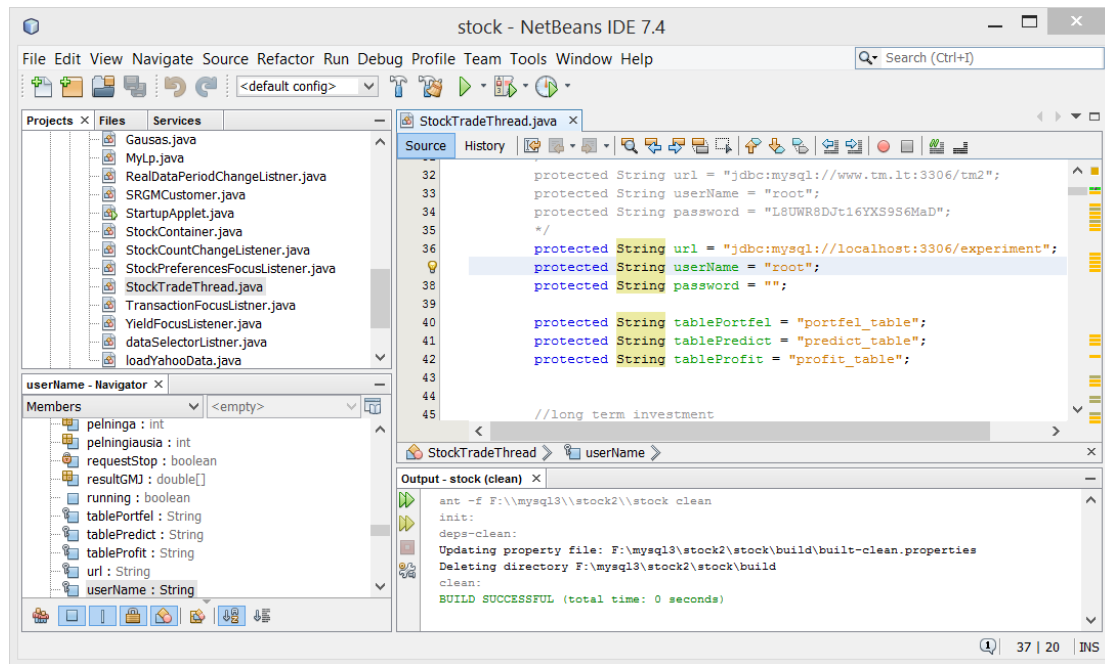


10 pav. Eksperimento duomenys MySQL lentelėse

Žingsnis 8: Eksperimento paleidimas. Paleiskite eksperimentą paspaudę

lango apačios dešinėje esantį „Start Experiment“ mygtuką. Jei klaidų nėra, parodomos duomenų bazėje sukuriamos lentelės (žr. 10 pav.). Baigus eksperimentą duomenis galima išsaugoti standartiniais SQL įrankiais.

11 pav. vaizduojamas „StockTradeThread“ klasės Java kodo fragmentas. Šią klasę galima rasti `lt.ktu.mockus.srgm` pakete.



11 pav. Java kodo fragmentas NetBeans aplinkoje

Papildomos prekybos taisyklės taip pat gali būti įtrauktos. Jei padarėte pakeitimų, perkompiliuokite projektą paspaudę „Clean and Build“ komandą ir paleiskite programą paspaudę „Run“ komandą.

Viso modelio programinis kodas nėra lengvai suprantamas, tačiau pelnams ir prognozavimo paklaidoms skaičiuoti skirtos dalys yra labai nesudėtingos. Pelnai skaičiuojami kaip skirtumas tarp kainų, už kurias akcijos pirktos, o po to parduotos, ir transakcijos kaštų bei banko palūkanų. Prognozavimo paklaida, pvz., MAE, yra absoliutus skirtumas tarp prognozuojamos ir realios akcijos kainų.

JOANA KATINA

PROGNOZAVIMO PROBLEMŲ TYRIMAS
VIRTUALIOJE AKCIJŲ BIRŽOJE

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai, Informatikos inžinerija (07 T)

Redaktorė Jorūnė Rimeisytė

JOANA KATINA

INVESTIGATION OF PREDICTION PROBLEMS
BY THE VIRTUAL STOCK EXCHANGE

Doctoral Dissertation

Technological Sciences, Informatics Engineering (07 T)

Editor Janina Kazlauskaitė