



INVESTICIJŲ PORTFELIO SUDARYMAS NAUDOJANT SPRENDIMŲ PARAMOS SISTEMĄ

Viktorija Stasytė

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania
El. paštas viktorija.stasyte@vgtu.lt*

Įteikta 2012-03-01; priimta 2012-06-20

Santrauka. Šiuolaikinėje finansų rinkoje ir finansų mokslo srityje kyla žiniomis pagrįstų ir programiškai aprūpintų sistemų, padedančių investuotojams ir finansų analitikams laiku priimti tinkamus sprendimus, poreikis. Straipsnyje siūloma galima priemonė optimalaus portfelio sudarymo problemai kapitalo rinkoje spręsti – investicijų portfelio sprendimų paramos sistema. Straipsnyje taip pat detalai aprašoma sistemos struktūra ir pagrindiniai veikimo principai. Sistema paremta adekvačiojo portfelio modeliu, siūlančiu portfelio reikšmes matuoti pagal tris parametrus – pelningumą, patikimumą ir riziką. Taip sprendimų priėmimo posistemyje formuojami du erdviniai paviršiai – galimybių (efektyvusis) paviršius ir naudingumo funkcijų paviršius, kurių susilietimo taške gaunamas optimalus sprendinys – investicijų portfelio struktūra. Pateikiamos galimos sistemos plėtojimo kryptys ir pritaikymo galimybės.

Reikšminiai žodžiai: investicijų portfelis, adekvačiojo portfelio modelis, sprendimų paramos sistema, sistemos inžinierius, prognozavimas, monitoringas.

INVESTMENT PORTFOLIO FORMATION USING DECISION SUPPORT SYSTEM

Viktorija Stasytė

*Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania
E-mail: viktorija.stasyte@vgtu.lt*

Received 01 March 2012; accepted 20 June 2012

Abstract. In contemporary financial market and scientific field of finance the demand for knowledge-based and software-supplied systems allowing investors and financial analysts to make proper and timely decisions is rising. The possible instrument for solving the problem of optimal portfolio formation in the capital market is proposed in the paper – the investment portfolio decision support system. The paper also thoroughly describes the structure of the system, as well as its main operation principles. The system is based on the adequate portfolio model, which proposes to express portfolio values in three parameters – profitability, reliability and risk. Thus in decision-making subsystem two surfaces are formed – possibilities (efficient) surface and utility functions' surface, and in their tangency point the optimal decision is found – the structure of investment portfolio. The possible trends of system's development and possibilities of its application are presented.

Keywords: investment portfolio, adequate portfolio model, decision support system, system engineer, forecasting, monitoring.

JEL Classification: G11, G17.

1. Įvadas

Per pastaruosius dešimtmečius finansų rinkų globalizacija, didėjanti konkurencija tarp įmonių ir finansų institucijų, taip pat spartūs ekonominiai, socialiniai ir technologiniai pokyčiai lėmė didėjantį finansinės ir verslo aplinkos neapibrėžtumą ir nestabilumą. Šiame naujame kontekste išaugo efektyvių finansinių sprendimų priėmimo poreikis ir svarba, o kartu padidėjo ir finansinių sprendimų priėmimo proceso sudėtingumas. Ši sudėtingumą liudija didžiulis naujų finansinių produktų ir paslaugų kiekis bei įvairovė.

Šioje naujoje realybėje finansų tyrinėtojai ir praktikai pripažįsta būtinumą nagrinėti finansines problemas integruotais ir realybę atitinkančiais būdais, paremtais sudėtinga kiekybinės analizės technika. Taigi matematinio modeliavimo vaidmuo finansuose tampa labai svarbus. Šiandien siūlomi metodai iš optimizavimo, stochastinių procesų, simuliacijos, prognozavimo, sprendimų paramos sistemų, daugiakriterinės sprendimų paramos, neapibrėžtosios logikos ir t. t. sričių laikomi vertingomis finansinių sprendimų priėmimo priemonėmis (Zouponidis, Doumpos 2002).

Iš daugybės finansų rinkų problemų nuolat didelio mokslininkų ir praktikų dėmesio sulaukia optimalaus investicijų portfelio sudarymo problema. Šiandien jau nekeliami abejonių, ar galima investicinio portfelio parametrus priimti kaip determinuotus, o tiesiog kuriami sprendimų metodai stochastiniams atvejams (Steuer *et al.* 2005; Huang 2007; Buckley *et al.* 2008; Ehr Gott *et al.* 2009). Markowitz (1952) vidurkio–dispersijos modelis buvo nuolat papildomas. Iš išanalizuotos portfelio optimizavimo literatūros matyti, kad vis dažniau mokslininkai padaro išvadą, kad į investicijų portfelio sudarymo uždavinį prie pelningumo ir rizikos tikslinga įtraukti papildomus parametrus ir kad portfelio optimizavimas turi būti daugiakriterinis (Steuer *et al.* 2007, 2008). Kaip trečiasis parametras buvo naudojamas likvidumas (Jana *et al.* 2009; Lo *et al.* 2003), asimetrija (Prakash *et al.* 2003; Konno *et al.* 1993; Konno, Yamamoto 2005; Briec *et al.* 2005; Kerstens *et al.* 2008), plotis arba neapibrėžtumas (Smimou *et al.* 2008), sąlyginė rizikuojamoji vertė – CVaR (Aboulaich *et al.* 2010). Kai kuriais atvejais rizikai portfelioje išreikšti naudotas ne klasikinis standartinis nuokrypis, o kiti matai – absoliutus ir semiabsoliutus nuokrypis (Fang *et al.* 2006), rizikuojamoji vertė (VaR) (Soler *et al.* 2010). Rutkauskas (2000, 2005, 2006) pasiūlė inovatyvų būdą matuoti portfelio reikšmes pagal tris parametrus – pelningumą, patikimumą ir riziką. Šie principai bus įtraukti į straipsnyje siūlomą sprendimų paramos sistemą.

Pagrindinis straipsnio tikslas – pasitelkiant ir plėtojant adekvačiojo investicijų portfelio modelio principus, pasiūlyti investicijų portfelio sprendimų paramos sistemą, kuri taptų alternatyvia priemone optimalaus portfelio sudarymo problemai kapitalo rinkoje spręsti.

Tikslui pasiekti iškelti šie uždaviniai:

- išanalizuoti mokslinėje literatūroje siūlomas sprendimų priėmimo kapitalo rinkoje kompleksines priemones;
- apibūdinti siūlomą sprendimų paramos sistemą, pristatant jos struktūrą ir veikimo principus;
- pateikti pasiūlymus dėl sistemos pritaikymo rinkoje galimybių.

Sprendžiant numatytus uždavinius buvo taikomi lyginamosios ir sisteminės analizės, apibendrinimo, erdvinės analizės metodai.

2. Siūlomos sprendimų paramos sistemos akcijų rinkai: mokslinės literatūros analizė

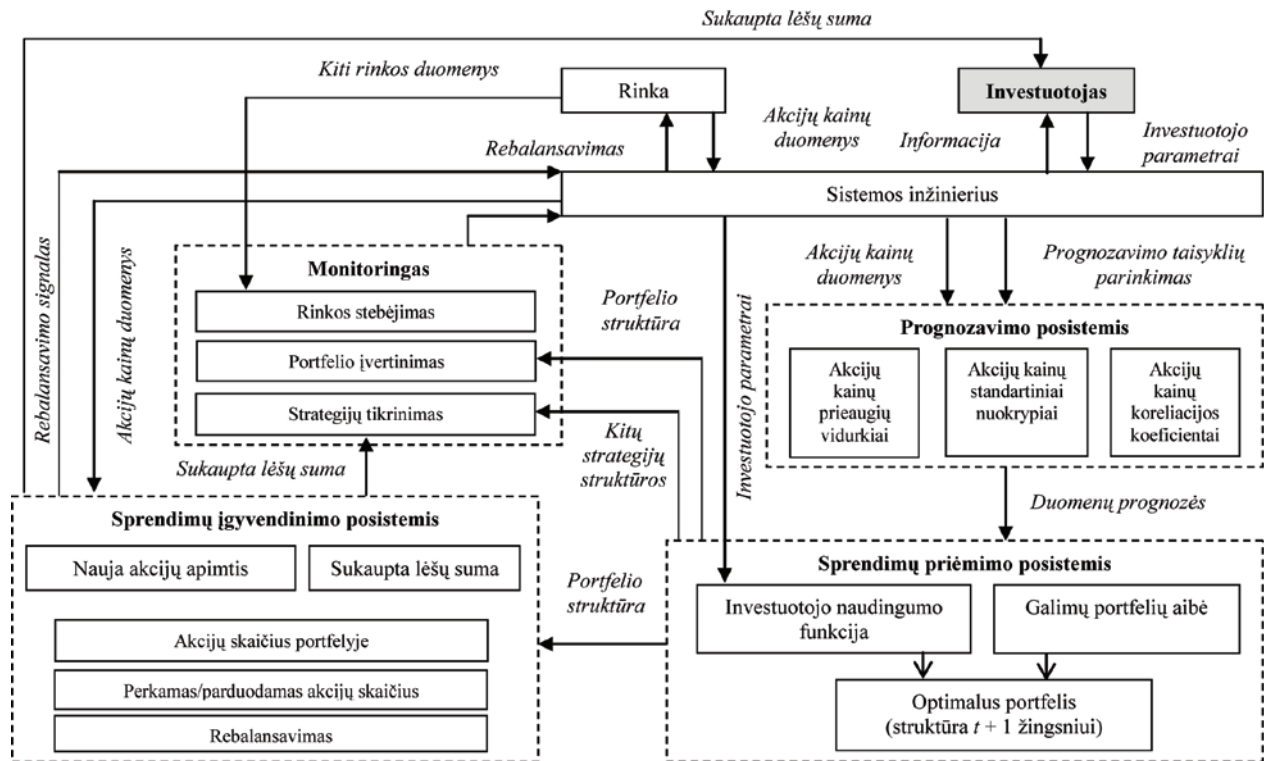
Finansuose ir ekonomikoje šiandien plačiai taikomos naujausios kompiuterinių technologijų ir skaičiavimo technikos priemonės ir patobulinimai. Atsirado nauja tarpdalykinė tyrimų kryptis – finansų inžinerija, sujungianti finansus, matematiką ir programavimą. Ji leidžia finansų analitikams efektyviai analizuoti duomenis. Daugiausia dėl šios mokslo krypties atsirado ir kompleksinių žiniomis pagrįstų ir programiškai aprūpintų sistemų, padedančių investuotojams ir finansų analitikams priimti adekvačius sprendimus (Zopounidis *et al.* 1997). Išanalizavus per kelis pastaruosius dešimtmečius sukurtas sistemas, padedančias investuotojams prekiauti akcijų rinkoje (1 lentelė), pastebėta, kad jos vadinamos labai įvairiai: sprendimų valdymo sistemomis, sprendimų paramos sistemomis, ekspertinėmis sistemomis, multiagentų sistemomis. Tai priklauso iš dalies nuo autoriaus požiūrio į problemą, nuo sistemos veikimo principų, taikomų metodų ir nuo siekiamo tikslo (rezultato).

Autorės siūloma sprendimų paramos sistema iš dalies turi ir proceso valdymo požymių, ir ekspertinių sistemų elementų, ir netgi tam tikru atžvilgiu gali būti analizuojama kaip agentų sistema, tačiau to neužtenka, kad ji būtų pavadinta viena iš pirmiau minėtų sąvokų. Ji neveikia pagal tradicinius valdymo sistemų kanonus, nėra sudaryta iš ekspertų su visomis jiems būdingomis charakteristikomis, o kad ją sudarantys elementai galėtų būti pavadinti agentais, jiems trūksta galimybės mokytis ir bendrauti tarpusavyje – čia jungiamoji grandis, pereinant nuo vienos sistemos dalies prie kitos, vis dėlto yra žmogiškasis veiksnys. Todėl nuspręsta apsisototi ties sprendimų paramos sistemos pavadinimu.

Sprendimų paramos sistemų (angl. *Decision Support Systems, DSS*), kartais verčiamų į lietuvių kalbą kaip sprendimų priėmimo sistemos arba sprendimus padedančios priimtų sistemos (Dzemydienė 2006), samprata nėra viena reikšmė. Sprendimų paramos sistemos apibrėžtis priklauso nuo nagrinėjamų problemų pobūdžio, keliamų tikslų, ontologinių nuostatų. Sprendimus padedančias priimti sistemas galima apibrėžti atsižvelgiant į jų paskirties, kūrimo metodikos ar struktūros ypatumus (Guariso, Werthner

1 lentelė. Sprendimų paramos sistemos prekybai akcijų rinkoje
Table 1. Decision support systems for trading in stock market

Autoriai, metai ir sistemos pavadinimas	Metodai	Veikimo principai ir rezultatas	Programinė įranga, bazė
Lee, Stohr (1985) PMIDSS – <i>Portfolio Management Intelligent Decision Support System</i>	Vidurkio–dispersijos analizė, ekspertinė žiniomis grįsta sistema	Sistema skirtingais lygmenimis analizuoja: 1) šalies ekonomiką ir akcijų rinką; 2) pramonės šaką; 3) įmones; 4) pasirinktas akcijas. Taikomi metodai: klausimų tinklai, tikimybių tinklai, rėmai, gamybos taisyklės. Rezultatas: portfelio struktūra.	–
Lee et al. (1989) ISPMS – <i>Intelligent Stock Portfolio Management System</i>	Kvadratinis programavimo modelis, ekspertinė žinių sistema	Investuotojo pagėdavimai tampa kvadratinio programavimo modelio apribojimais. Rezultatas: portfelio struktūra.	–
Kwasnicka, Ciosmak (2001) SMEE – <i>Stock Market Electronics Expert</i>	Dirbtiniai neuroniniai tinklai, neapibrėžtos ekspertinės sistemos	Naudojama techninė ir fundamentaliąja analize. Rezultatas: akcijų kainų krypties prognozė.	Programa SMEE instaliuojama į Windows operacinę sistemą
Luo et al. (2002) MASS – <i>Multi-Agent System for Stock Trading</i>	Multiagentų technologijos	Agentai įvertina: 1) rizikos ir pelningumo santykį; 2) akcijos judėjimo kryptį; 3) naudojant slankųjį vidurkį tikslinama judėjimo kryptis; 4) prekybos apimtys kitimo kryptį; 5) akcijos vertės pagrįstumą. Rezultatas: pirktinų/pardotinų akcijų sąrašas kitai prekybos dienai.	<i>Java Inference Engine, Networked Interactor (JINNI), Defeasible Logic Programming (DeLP)</i>
Samaras, Matsatsinis (2004) INTELLIGENT INVESTOR – <i>An Intelligent Decision Support System for Portfolio Management</i>	Daugiakriteriai analizės metodai, ekspertinės sistemos	Sistema įtraukia šias priemones: 1) fundamentaliąją analizę; 2) techninę analizę; 3) rinkos psichologiją. Rezultatas: sistema nustato, į kokias akcijas ir kokią struktūrą investuoti.	–
Kim, Won (2004) UNIK-PRP – <i>Unified Knowledge-based portfolio decision-making system considering Personal Risk Preference</i>	Dirbtinio intelekto metodas, žiniomis grįsta sistema	Sistema apima keturis žingsnius: 1) veiksmų pasirinkimą; 2) investuotojui pritamino rizikos lygio nustatymą; 3) aktyvų aišbės generavimą; 4) optimalaus portfelio sudarymą. Rezultatas: optimali portfelio struktūra.	Sistema sukurta remiantis UNIK-FWD ir UNIK-OPT sistemomis, naudojant Visual C++ 4.0, instaliuojama į Windows operacinę sistemą
Samaras et al. (2008) <i>Multicriteria DSS</i>	UTA, UTASTAR	Atliekama akcijų fundamentaliąja analizė. Rezultatas: akcijų išrikiavimas pagal naudingumą investuotojui.	Failas, importuojamas į MS Excel
Yong, Taib (2009) <i>Decision Support System for Stock Investment Strategy</i>	Dirbtiniai neuroniniai tinklai, duomenų gavyba	Integruojama fundamentaliąja ir techninė analizė bei dirbtinių neuroninių tinklų metodas. Rezultatas: akcijos kainos kitimo kryptis, akcijos kainos įvertinimas, rizikos lygis, pirkimo/ pardavimo signalas.	–
Fasanghari, Montazer (2010) <i>Fuzzy Expert System for Portfolio Recommendation</i>	Neapibrėžtos ekspertinės sistemos	Naudojama daugiakriterine analize, ekspertiniais vertinimais. Rezultatas: portfelio struktūra penkiems rizikos lygiams.	MATLAB
Xidonas et al. (2011) IPSSIS – <i>Integrated Portfolio Synthesis and Selection Information System</i>	Daugiatiksliis matematinis programavimas, apribojimų metodas (AUGMECON)	Sistemos modelis naudoja keturias tikslo funkcijas: 1) portfelio grąžos maksimizavimą; 2) portfelio dividendinio pajamingumo maksimizavimą; 3) portfelio vidutinio absoliutaus nuokrypio minimizavimą; 4) portfelio betos minimizavimą. Rezultatas: optimalus portfelis.	Kompiuterio programa, sukurta naudojant <i>Java SE Runtime Environment 6, MS Excel 2003, GAMS</i> modeliavimo sistema.



1 pav. Investicijų portfelio sprendimų paramos sistema

Fig. 1. Investment portfolio decision support system

1989; Methlie, Sprague 1985). Apskritai sprendimus padedanti priimti sistema suprantama kaip interaktyvi programų sistema, padedanti sprendimus priimantiems asmenims atrinkti, analizuoti ir panaudoti duomenis bei modelius sprendžiant nesustruktūrintas arba mažai sustruktūrintas problemas. Be to, reikalaujama, kad sprendimų priėmimo sistema padėtų parinkti vieną iš turimų alternatyvių problemos sprendimo strategijų (Klein, Methlie 1995).

Gana plačią ir išbaigtą apibrėžtį pateikia Aleksejevas (Alekseev *et al.* 1997): sprendimų priėmimo (paramos) sistema – tai sistema, parenkanti arba padedanti parinkti tam tikru požiūriu geriausią arba bent jau priimtina alternatyvą iš jos pačios formuojamų arba jai pateiktų alternatyvų aibės ir tai padaroma įvertinant galimas alternatyvos realizavimo pasekmes.

Tačiau realiose situacijose sprendimų paramos sistema (SPS) paprastai interpretuojama kaip kompiuterinė informacinė sistema, skirta sprendimų priėmimo informacijai generuoti ir tokiu būdu padedanti vartotojui spręsti problemą. SPS suteikia informaciją, reikalingą alternatyvoms kurti, analizuoti ir vertinti bei pasirinkti geriausią iš alternatyvų siekiant užsibrėžtų tikslų (French, Turoff 2007; Kaklauskas *et al.* 2007; Power 2008). Taip pat SPS gali būti suprantama kaip sistema, surenkanti ir apdorojanti įvairius duomenų ir žinių šaltinius taip padedant įgyvendinti sprendimus (Tunčikienė *et al.* 2010).

Taigi, išanalizavus galimas sprendimų paramos sistemos sąvokos traktuotes, prieinama prie išvados, kad ši sąvoka tinkamai atskleidžia ir apibūdina visus kuriamos priemonės sprendimams kapitalo rinkoje priimti veikimo principus ir ypatumus.

3. Sprendimų paramos sistemos struktūra ir veikimo principai

Autorės siūloma sprendimų paramos sistema, skirta investicijų portfelio sprendimams kapitalo rinkoje priimti, remiasi tais pačiais principais kaip ir sprendimų valdymo sistema valiutų kursų ir kapitalo rinkose (SPVVKR) (Rutkauskas 2005) ir turi panašią bendrąją struktūrą, tačiau pagrindinis jos skiriamasis bruožas tas, kad ji labiau orientuota į investuotoją, nes sprendimas randamas pasitelkiant naudingumo funkciją su konkrečiais, tik nagrinėjamam investuotojui būdingais parametrais. Tų parametru įtraukimas į sprendimo priėmimo procesą labai praplečia sistemos taikymo galimybes: ja gali naudotis ir pavieniai investuotojai, ir investuotojų grupės, o tai gali būti sėkmingai pritaikyta bankuose siūlant asmeninių finansų valdymo paslaugas.

Pirminis SPVVKR sistemos variantas sukurtas tam tikrai agreguotai naudingumo funkcijai, arba, kitaip tariant, vienai naudingumo funkcijai, tam tikromis aplinkybėmis gebančiai

generuoti priimtina hipotetiniam investuotojui naudingumą. Vadinasi, SPVVKR sistemą galima apibūdinti kaip atskirą, konceptualiai išbaigtą ir programiškai gerai aprūpintą investicijų portfelio sprendimų paramos sistemos variantą.

1 pav. išsamiai pavaizduota sukurta ir nagrinėjama investicijų portfelio sprendimų paramos sistema, jos posistemiai ir tarp posistemų vykstantis informacijos srautų judėjimas. Toliau bus išsamiai išnagrinėti visi siūlomos sistemos posistemiai, pabrėžiant jų veikimo principus, tikslus, uždavinius ir gaunamus rezultatus bei poveikį bendriems sistemos rezultatams.

3.1. Parengiamasis etapas

Investicijų portfelio sprendimų paramos sistemoje skiriami du veikėjai:

1. Investuotojas.
2. Sistemos inžinierius.

Abu jie gali būti realūs žmonės. Kadangi sistema skirta sprendimams priimti ir įgyvendinti realioje rinkoje, *investuotojas* gali būti realus fizinis arba juridinis asmuo, norintis naudodamasis sistema, daryti investicinius sprendimus.

Sistemos inžinierius – tai savotiškas sistemos prižiūrėtojas arba tarpininkas tarp investuotojo ir sistemos. Iš esmės įgudęs investuotojas galėtų pats naudotis sistema, tačiau visų pirma tai būtų jam gana sudėtinga ir... užimtų daug laiko, o kilus kliūtims vis tiek reikėtų kreiptis į specialistą. Be to, sukurta sistema yra autorinis produktas ir negali būti visiškai perduota fiziniam arba juridiniam asmeniui naudoti; gali būti skelbiami tik naudojantis sistema sugeneruoti sprendimai ir investavimo rezultatai. Taigi sistemos inžinierius greitai ir profesionaliai atliks reikalingus veiksmus ir investuotojas gaus reikiamą rezultatą.

Prieš pradėdant naudoti sistemą pagal investuotojo užsakymą, vyksta parengiamasis etapas, kai sistemos inžinierius susipažįsta su investuotoju ir supažindina investuotoją su pagrindiniais sistemos veikimo principais. Šiame etape, siekiant kuo efektyvesnio sprendimų priėmimo, išsiaiškinama tokia informacija, kaip investicijų proceso parametrai (investavimo laikotarpis, portfelio struktūros keitimo dažnumas, rinka), investuotojo nustatomi apribojimai naudingumo funkcijai (toleranciją kiekvienam iš trijų naudingumo funkcijos parametru: pelningumui, rizikai ir patikimumui) ir kita informacija apie investuotoją, kuri daugiausia siejasi su bendromis finansinėmis investuotojo charakteristikomis. Tai gali būti investavimo (lošimo) tikslas, investuotojo žinių lygis apie investavimo procesą ir priemones, investuotojo finansinė padėtis, pajamų lygis, turimos skolos, likvidumo poreikis ir t. t.

Ši papildoma informacija gali būti naudojama sudarant naudingumo funkciją kaip kiekvieno iš jos trijų parametru koeficientų ar laisvojo koeficiento sudedamoji dalis. Tačiau paversti gautą informaciją į atitinkamą koeficientą, suderinamą su naudingumo funkcijos išraiška, nėra lengvas

uždavinys. Be to, konkreti naudingumo funkcijos realizacija – abejingumo kreivė – yra gana jautri jai sudaryti naudojamiems kintamiesiems. Dėl to, siekiant įtraukti į naudingumo funkciją papildomas investuotojo charakteristikas ir sudaryti ją taip, kad ji būtų suderinta su trimate galimybių aibe ir galėtų būti vaizduojama toje pačioje koordinacių sistemoje, reikalinga papildoma nuodugni eksperimentinė studija, leisianti nustatyti, kaip naudingumo funkcijos parametru pakeitimas keičia tos funkcijos formą. Todėl straipsnyje aprašomame tyrime padaryta prielaida, kad informacija apie investicijų proceso parametrus ir apribojimai naudingumo funkcijai tam tikru laipsniu atspindi didžiąją investuotojo savybių dalį.

3.2. Prognozavimo posistemis

Akcijų kainų prognozavimas, atliekamas investicijų portfelio sprendimų paramos sistemos prognozavimo posistemyje, metodologiškai glaudžiai susietas su prognozavimu, vykdomu SPVVKR sistemoje (Rutkauskas 2006). SPVVKR sistemos prognozavimo posistemo esmę sudaro prognozuojamo rodiklio reikšmės ($t + 1$) momentu regresinė priklausomybė nuo nagrinėjamo rodiklio reikšmių t ir ankstesniais momentais:

$$y^{t+1} = f\left(x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t; \theta(0, t)\right), \quad (1)$$

čia y^{t+1} – prognozuojamojo valiutų kurso ar akcijų kainos galimų reikšmių ($t + 1$) momentu tikimybės skirstinys; x^t – veiksnio i laiko momentu t galimų reikšmių tikimybės skirstinys; $\theta(0, t)$ – kitų veiksmų poveikio ($t + 1$) momento rodikliui atstojamoji; f – regresija.

Matematinė išraiška (1) nusako bendrą prognozavimo metodą, taikomą prognozuojant akcijų kainas ir valiutų kursus, formą. Siekiant sukonkretinti šią funkcinę priklausomybę, verta paminėti veiksmus, kurie naudojami akcijos kainai k_1 prognozuoti $t + 1$ laiko momentu:

1. TREND, GROWTH ir kitos funkcijos.
2. Kiekvienos iš n akcijų kaina $t - 1$ laikotarpiu.
3. Regresinė priklausomybė tarp k_1 akcijos kainos t momentu ir k_2, \dots, k_n akcijų kainų t momentu.
4. Regresinė priklausomybė tarp k_1 akcijos kainos praeigio p_1 laiko momentu t ir visų akcijų kainų praeigių p_2, \dots, p_n laiko momentu t .
5. Koreliacija tarp k_1 akcijos kainos ir k_2, \dots, k_n akcijų kainų.

Prognozuojama dviem etapais (2 lentelė). Pirmiausia, remiantis išvardytų veiksmų agreguota funkcija (f_N), prognozuojamos kiekvienos iš n akcijų kainos $t + 1$ laiko momentu. Tačiau tai yra tarpiniai prognozės rezultatai. Toliau eina antrasis prognozės etapas, kuriame konkrečios akcijų kainos k_1, \dots, k_n prognozei naudojamos jau suprognuotų likusių $n - 1$ akcijų kainų prognozės $t + 1$ laikotarpiu.

2 lentelė. Dvietapis prognozavimas

Table 2. Two-step forecasting

Prognozavimo etapas	Prognozavimo momentas	k_1	k_2	...	k_n
I	$t + 1$	$(fN)_1$	$(fN)_2$...	$(fN)_n$
II	$(t + 1)^c$	$k_{1(t+1)} = f_1^c((fN)_1, (fN)_2, \dots, (fN)_n)$	$k_{2(t+1)} = f_2^c((fN)_1, (fN)_2, \dots, (fN)_n)$...	$k_{n(t+1)} = f_n^c((fN)_1, (fN)_2, \dots, (fN)_n)$

Pastaba. Kai prognozavimo etape naudojamų akcijų skaičius yra n , sprendimų priėmimo etape gali būti naudojamas skaičius $n + 1$, nes struktūra gali būti formuojama įtraukiant nerizikingą investiciją – grynuosius pinigus.

Verta paminėti, kad ir investicijų portfelio sprendimų paramos sistemoje, ir SPVVKR sistemoje kiekvienoje situacijoje nėra taikoma visa prognozavimo metodų visuma su visais jų sudarančiais veiksniais. Konkrečiu atveju parenkamas tinkamiausias prognozavimo metodas ir įtraukiami pasirinkti veiksniai. Gali būti naudojami ir supaprastinti prognozavimo variantai – TREND arba slankusis vidurkis.

Taip pat reikia pabrėžti, kad $t + 1$ momentu prognozuojama ne determinuota akcijos kaina, o jos tikimybės skirstinys, nes tiksliai numatyti ateities neįmanoma, o ateities procesų vaizdavimas, pasitelkiant stochastinius modelius, yra daugiau ar mažiau adekvatus jos vaizdavimas ir suvokimas. Taigi, remiantis minėtais modeliais prognozuojami akcijų kainų tikimybės skirstinių parametrai – vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai.

3.3. Sprendimų priėmimo posistemis

Šiame posistemyje formuojama galimų portfelių aibė ir investuotojo naudingumo funkcija, randamas jų susilietimo taškas, kurio struktūra atitinka optimalų portfelį $t + 1$ žingsniui. Tai atliekama keliais etapais.

1. Parengiami portfelio galimų struktūrų duomenys (apie 19 000 variantų, o tai gana išsamiai atspindi galimų struktūrų aibę):

$$\begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \dots & w_{1,7} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \dots & w_{2,7} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{19000,1} & w_{19000,2} & \dots & w_{19000,7} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

2. Prognozuojami šešių (sprendimų paramos sistema sukonstruota šešioms arba dvylikai akcijų ir vienai nerizikingai investicijai) akcijų kainų priaugių vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai $\xi_1(m_1; s_1)$, $\xi_2(m_2; s_2)$, ..., $\xi_6(m_6; s_6)$, pasitelkus 3.2 poskyryje išdėstytą logiką.
3. Nustatoma tikimybės skirstinio forma.

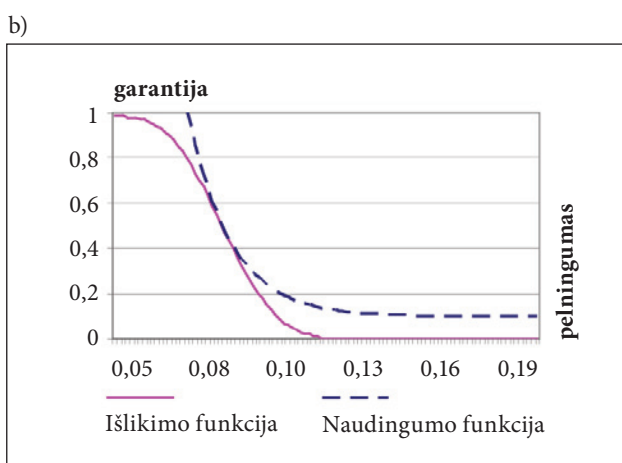
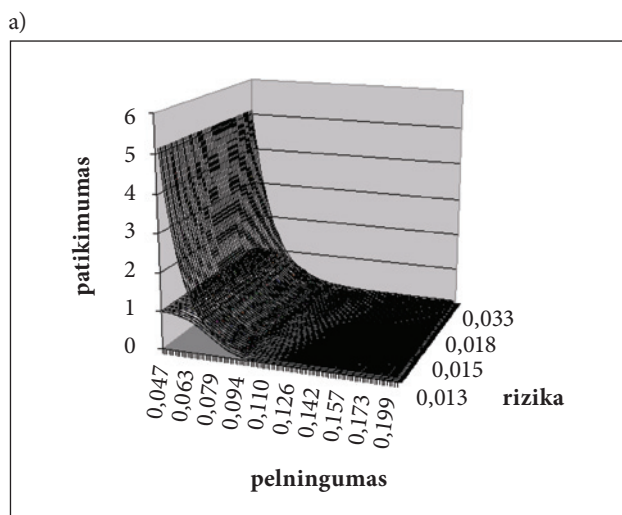
4. Pagal gautus tikimybės skirstinio parametrus generuojama galimų portfelio reikšmių aibė (tiek aibės narių, kiek yra portfelio struktūros variantų).
5. Naudojant reikalingus parametrus, paleidžiama kompiuterinė programa.
6. Gaunami rezultatai – 3 išvesčių failai. Pirmajame failu – nesurūšiuoti duomenys. Antrajame – duomenys, skirti vaizduoti portfelio aibei dvimatėje erdvėje. Trečiajame – duomenys, skirti vaizduoti portfelio aibės efektyviosioms linijoms (kurių reikšmės sudaro tikimybės skirstinį ξ) dvimatėje erdvėje ir parengti duomenis trimačiam vaizdui formuoti.
7. Iš trečiojo išvesčių failo atrenkami efektyviųjų linijų duomenys trimačiam portfelio vaizdui formuoti ir nukopijuojami į atskirą failą.
8. Formuojamas trimatis portfelio galimybių vaizdas. Tam tikslui iš taškų, esančių ant skirtingo patikimumo lygio ir to paties rizikos lygio efektyviųjų linijų, tikimybės skirstinių formuojamos skirstinio funkcijos $F^1_1, F^1_2, \dots, F^1_6$, kai $F^1_1 = f(\xi_1)$, $F^1_2 = f(\xi_2)$, ..., $F^1_6 = f(\xi_6)$, o iš pastarųjų – išlikimo funkcijos $S^1_1 = 1 - F^1_1$, $S^1_2 = 1 - F^1_2$, ..., $S^1_6 = 1 - F^1_6$.
9. Suformuojama naudingumo funkcija.
10. Grafinio (geometrinio) sprendimo būdu randamas portfelio galimybių aibės ir naudingumo funkcijos susilietimo taškas trimatėje erdvėje – optimalus portfelis investuotojui.
11. Randami portfelio parametrai – pelningumas, rizika ir patikimumas.
12. Pagal šiuos parametrus, sugrįžus į antrąjį išvesčių failą, randama portfelio struktūra.

Taigi iš pateiktų sprendimo priėmimo posistemo etapų matyti, kad būtent šiame posistemyje į investicijų portfelio sprendimų paramos sistemą integruojami adekvačiojo portfelio modelio principai. Šis integravimas pasireiškia ir tikimybės skirstinio bei jo parametų prognozavimu, ir naudingumo funkcijos sudarymu, ir trimačio portfelio galimybių vaizdo formavimu, kuris, susiliedamas su naudingumo paviršiumi, atlieka svarbią optimalaus portfelio nustatymo funkciją.

Grafinis naudingumo funkcijos vaizdas formuojamas remiantis analitine funkcijos išraiška, kuri detalizuojama devintajame sprendimų priėmimo posistemio etape:

$$U = \exp\left(\frac{e}{r}\right) \cdot g, \quad (3)$$

čia U – galimybės naudingumo lygis; e – pelningumas; r – rizika; g – garantija.



2 pav. Optimalaus sprendimo suradimo procesas (Rutkauskas, Stasytytė 2011): a – portfelio galimybių aibė ir naudingumo funkcija; b – išlikimo funkcijos ir naudingumo funkcijos susilietimas tam tikrame rizikos lygyje – optimalus sprendimas

Fig. 2. The process of optimal decision finding (Rutkauskas, Stasytytė 2011): a – portfolio possibilities set and utility function; b – tangency point of survival function and utility function on the particular risk level – an optimal decision

Iš pateiktos funkcijos iš esmės tampa aišku, kad investuotojas siekia maksimizuoti galimybės pelningumą bei patikimumą ir minimizuoti riziką. Vietoje pelningumo gali būti naudojamas pelningumo prieaugis. Tokiu atveju naudingumo funkcija atrodytų taip:

$$U = \exp\left(\frac{e - e_0}{r}\right) \cdot g, \quad (4)$$

čia e_0 – pelningumas pradinio laiko momentu t_0 (visos kitos reikšmės formulėje atitinka (3) formulės reikšmes).

Naudingumo paviršiaus susilietimo su efektyviausiu paviršiumi tolydaus atvejo grafiniai vaizdai pateikiami 2 pav., a ir b sekcijose.

Trumpai išdėstyta sprendimų priėmimo procedūra yra analitiškai reikšminga, nes tokiu būdu sprendžiamas stochastinio programavimo uždavinys pasitelkiant imitacines technologijas ir grafinius sprendimų priėmimo būdus. Optimalaus portfelio parinkimo procesas, detaliam pateikiant grafinių naudingumo ir efektyviojo paviršiaus formavimą, išsamiau aprašomas ankstesniuose A. V. Rutkausko ir V. Stasytytės darbuose (Rutkauskas 2005, 2006; Rutkauskas, Stasytytė 2010, 2011; Stasytytė 2008, 2011).

3.4. Sprendimų įgyvendinimo posistemis

Suradus optimalaus portfelio struktūrą, atliekamas kitas žingsnis – sprendimo įgyvendinimas. Šis etapas apima veiksmus nuo struktūros radimo iki realaus atsakymo, kiek ir kokių akcijų reikia nupirkti ar parduoti ir į ką pavirs investuojama lėšų suma.

Įgyvendinant sistemos pasiūlytą sprendimą, reikia atlikti žingsnius, išvardytus 3 lentelėje.

Sprendimų įgyvendinimo posistemis yra atskiras MS Excel programos failas – skaičiuoklė su suformuotu formulių masyvu, į kurią įkėlus reikiamus duomenis, atsiranda atskirų skaičiavimo etapų rezultatai ir galutinis rezultatas. Skaičiuoklė tinkama ir investavimui (taip pat ir hipotetiniam, kurio metu imituojamas rinkos vyksmas) stebėti, nes lengva sekti sukauptą lėšų sumą ir realiai investuoti demonstracinėje aplinkoje – parodomas akcijų skaičius, kurių reikia pirkti arba parduoti ir kiek bus investuota lėšų į kiekvieną akciją.

Nagrinėjamame posistemyje formuojami iš esmės pagrindiniai sistemos rezultatai – stebima, kaip kinta investuojama lėšų suma ir generuojamas rebalansavimo signalas, pagal kurį sistemos inžinierius atlieka realaus pirkimo–pardavimo veiksmus rinkoje. Visa šiuo etapu sukaupta informacija siunčiama į monitoringo posistemį, kur atliekamas portfelio, sistemos strategijų ir rinkos stebėjimas.

3.5. Monitoringo posistemis

Monitoringas (angl. *monitoring*) – tai iš lotynų kalbos kilęs tarptautinis žodis, reiškiantis ilgalaikį kokio nors reiškinio, sistemos stebėjimą (Vaitkevičiūtė 2001). Plačiąja prasme *monitoringas* apibrėžiamas kaip duomenų apie kokį nors reiškinį ar procesą (paprastai keliantį problemų ar net pavojų) rinkimas, analizavimas ir rekomendacijų rengimas, paremtas stebėjimu. Kai kurie kalbininkai siūlo vartoti lietuvišką terminą – *stebėseną*, tačiau nemažai specialistų su

3 lentelė. Portfelio sprendimų įgyvendinimo analitinė schema

Table 3. Analytical scheme of portfolio decisions implementation

Eil. Nr.	Veiksmo arba padėties aprašymas	Analitinė išraiška
1	Nustatomas investavimo momentas t_0 ir nuo to momento iš prognozavimo posistemio pradami perkelti duomenys (akcijų kainos) į sprendimų įgyvendinimo posistemį. Jeigu investuojant dalyvauja ir septintas aktyvas – grynieji pinigai – jo kaina visuomet bus lygi 1.	$k_1^0, k_2^0, k_3^0, k_4^0, k_5^0, k_6^0$ $k_1^1, k_2^1, k_3^1, k_4^1, k_5^1, k_6^1$
2	Pasirenkama investuotina suma, kuri nuliniu laiko momentu investuojama į grynuosius pinigus.	C_0
3	Iš sprendimų priėmimo posistemio perkeliama suformuota struktūra f_1 žingsniui.	$w_1^1, w_2^1, w_3^1, w_4^1, w_5^1, w_6^1, w_7^1$
4	Atliekamas rebalansavimas naudojant rinkoje nusistovėjusius pirkimo ir pardavimo rebalansavimo mokesčius (r_α ir r_β , atitinkamai). Apskaičiuojami kiekvienai akcijai tenkantys rebalansavimo mokesčiai pinigine išraiška.	$r_i = (IF(w^1_i \geq w^0_i; (w^1_i - w^0_i) \cdot C_0 \cdot r_\alpha; (w^1_i - w^0_i) \cdot C_0 \cdot r_\beta),$ $i = 1, 2, \dots, 7.$
5	Sumuojami visoms akcijoms pritaikyti rebalansavimo mokesčiai.	$R = \sum_{i=1}^7 r_i$
6	Randama investuotina suma, kuri susidaro atėmus visus reikiamus rebalansavimo mokesčius.	$C_{r,0} = C_0 - R$
7	Nustatoma apimtis (pinigais), kuri investuojama į kiekvieną aktyvą.	$a^1_i = C_{r,0} \cdot w^1_i, i = 1, 2, \dots, 7$
8	Išreiškiamas planuojamas kiekvienos akcijos kiekis portfelyje (vienetais).	$n^1_i = a^1_i / k^1_i$
9	Nustatomas perkamas/parduodamas kiekvienos akcijos kiekis.	$\Delta n_i = n^1_i - n^0_i$
10	Į skaičiuoklę įkeliamos kito žingsnio akcijų kainos.	$k_1^2, k_2^2, k_3^2, k_4^2, k_5^2, k_6^2$
11	Nustatoma nauja kiekvienos akcijos apimtis.	$a^2_i = n^1_i \cdot k^2_i$
12	Identifikuojama disponuojama pinigų suma kito žingsnio investavimui.	$C_1 = \sum_{i=1}^7 a^2_i$

Pastaba. Investuojant dalyvaujantis septintas aktyvas – grynieji pinigai – išreiškiamas valiuta, kurios kursas nepriklauso nuo kitų aktyvų (akcijų) kainų kaitos.

tuo nesutinka, nes iš esmės monitoringas apima ne tik patį stebėjimą, bet ir su juo susijusį prognozavimą, tam tikrų išvadų darymą. Todėl monitoringas dažnai yra daugiau negu tik stebėjimas.

Prielaidas sprendimų paramos sistemoje įdiegti monitoringo posistemį sukėlė poreikis analizuoti sistemoje naudojamus didelius duomenų masyvus, žmogiškojo veiksnio dalyvavimas vertinant strategijas ir platus spektras kapitalo rinkų, kurias gali rinktis investuotojas ir kurios prieš tai turi būti nuolat stebimos ir analizuojamos. Tokias funkcijas atliekančiam posistemui labai tinka monitoringo posistemio pavadinimas, nes šis posistemis susijęs ir su plataus spektro stebėjimu, ir su stebimo reiškinio analize ir įvertinimu.

Pirmajame monitoringo etape portfelio sukaupta suma gali būti lyginama ir su rinkos indeksu, ir su atskirai kiekvienos portfelyje dalyvaujančios akcijos prieaugiu per atitinkamą laikotarpį (3 pav.).

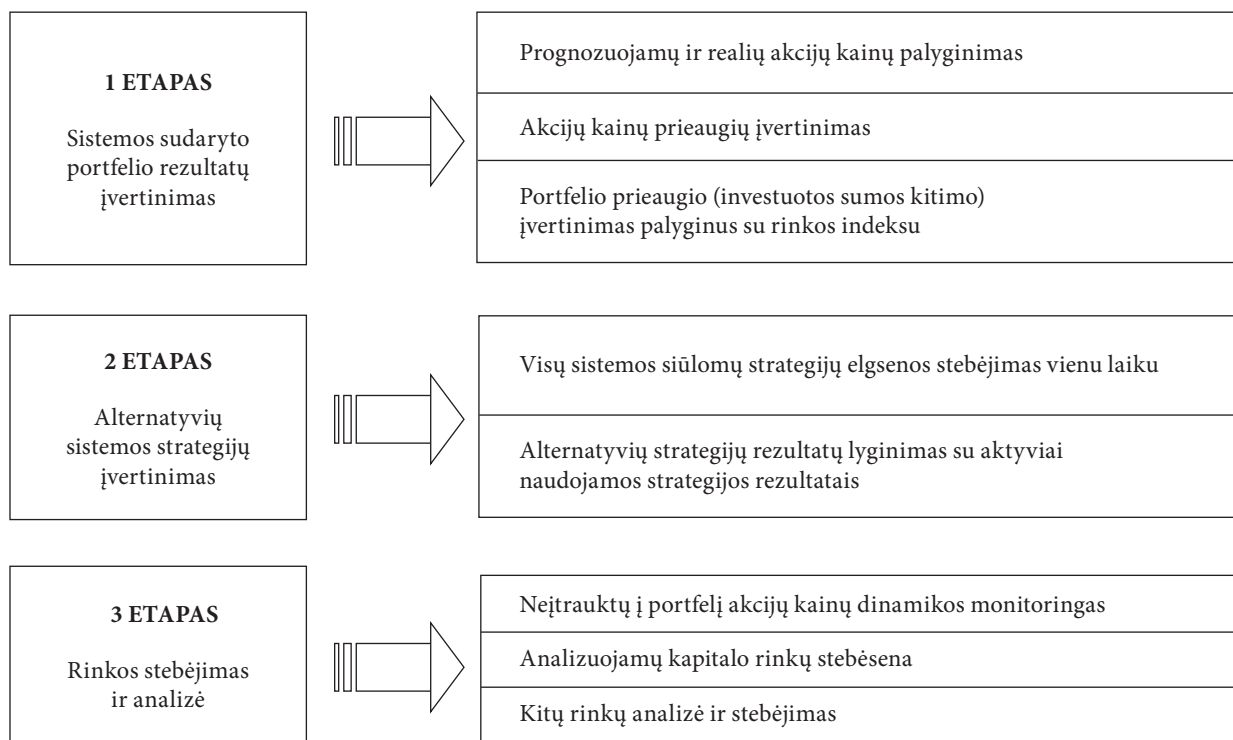
Antroji monitoringo schemos dalis taip pat susijusi su sprendimų priėmimo ir sprendimų įgyvendinimo posistemiu. Šiuo etapu stebimos visos sistemos generuojamos strategijos – net ir tos, pagal kurias tuo metu aktyviai neinvestuojama.

Rinkos stebėjimo etapas monitoringo posistemyje buvo suformuotas tam, kad investuotojas turėtų galimybę pakeisti

rinką, kurioje jis šiuo metu investuoja. Rinkos stebėjimas gali būti suprantamas ir siaurąja prasme – kaip indekso stebėjimas siekiant žinoti, kokius rezultatus naudojant sistemą galima gauti investuojant lėšas į kitas to paties indekso akcijas. Taip pat analizuojami ir kiti indeksai, norint nuolat turėti informacijos apie vidutinės ir mažos kapitalizacijos įmones ir jų tinkamumą investuoti pagal sistemą. Galiausiai plačiąja prasme rinkos stebėjimą ir analizę galima suprasti ir kaip pasirinktų pasaulio rinkų stebėjimą. Toks nuolatinis monitoringas leidžia investuotojui prireikus pakeisti investavimo rinką ir būti tam pasiruošus.

4. Sprendimų paramos sistemos plėtojimo ir taikymo galimybės

Investicijų portfelio sprendimų paramos sistema nuo pat struktūrinių užuomazgų SPVVKR sistemos pavidalu (Rutkauskas 2000) buvo plačiai taikoma VGTU Verslo vadybos fakultete atliekant mokslinius tyrimus, susijusius su finansų rinkose vykstančių procesų modeliavimu ir prognozavimu, taip pat buvo tobulinama, siekiant ją pritaikyti prie šiuolaikinių finansų rinkų veiklos sąlygų. Sukūrus sistemos prototipą valiutų rinkai, buvo daug dirbama siekiant pritaikyti sistemą kapitalo rinkai. Straipsnyje pateikiama gana išsami ir sustruktūrinta



3 pav. Monitoringo atlikimo schema

Fig. 3. The scheme of monitoring performance

sistemos veikimo schema, detalizuojant kiekvieno sistemos elemento veikimo principus siekiant bendro tikslo.

Tačiau netgi toks sistemos galimybių atskleidimas ir procesų analitinis-tikimybinis aprašymas nėra galutinis sistemos susiformavimo etapas. Sistema galėtų būti tobulinama šiomis kryptimis:

- Atsižvelgiant į tai, kad kiekvieno objekto, taip pat ir sistemos, tvarumo įrodymas yra nuolatinis šio objekto tobulinimas ir prisitaikymas prie besikeičiančių aplinkos sąlygų, investicijų portfelio sprendimų paramos sistema, kaip ir bet koks sisteminių darinių atstovas, privalo būti nuolat koreguojama ir adaptuojama prie rinkos sąlygų ir naujausių užfiksuotų dėsningumų.
- Pristatant sprendimų paramos sistemos struktūrą buvo pateiktos tik bendrosios išvalgos dėl taikytinų prognozavimo metodų komplekso ir keletas atskirų pavyzdinių tokių metodų variantų, tinkamų taikyti prognozavimo posistemyje. Taikant sistemą praktikoje (dėl vietos stokos šiame straipsnyje tokių bandymų rezultatai nepateikiami) išaiškėjo poreikis atlikti daugiau empirinių tyrimų siekiant nustatyti optimalią prognozavimo metodų sąranką, taikytiną sistemos prognozavimo posistemyje.
- Sprendimų priėmimo posistemyje detaliau nenagrinėjamas joks naudingumo funkcijos išraiškos variantas su nu-

statytais koeficientais. Viena kertinio sistemos elemento – sprendimų priėmimo posistemo – stiprinimo priemonė galėtų tapti pasiūlytos naudingumo funkcijos išraiškos plati lyginamoji analizė esant skirtingiems jos parametrų koeficientams, o tai atspindėtų skirtingų investuotojų savybes ir lūkesčius. Parametrų koeficientams parinkti būtų tikslinga taikyti ekspertinių vertinimų metodą.

- Taikant sistemą praktikoje, kyla poreikis išsiaiškinti sprendimų priėmimo nenuostolingumo ribą – su kokiais maksimaliais sandorio mokesčiais ir kaip dažnai keičiant portfelio struktūrą tikslinga prekiauti konkrečioje akcijų rinkoje. Turint informacijos apie rinkoje taikomus rebalansavimo mokesčius ir atlikus nedidelį eksperimentą su praėjusio laikotarpio faktiniais duomenimis, dar prieš įeinant į rinką, būtų aišku, ar dalyvauti joje gali būti pelninga.

Darbe pasiūlyta priemonė investiciniams sprendimams priimti turi reikalingų bruožų, leidžiančių ją taikyti praktiškai. Sistemos taikymo sritys ir būdai yra tokie:

- Sistema gali naudotis individualus investuotojas, padedamas sistemos inžinieriaus. Įvairiais sistemos žingsniais atliekamos analizės priderinamos prie investuotojo poreikių.
- Investicijų portfelio sprendimų paramos sistema yra tinkama priemonė profesionaliems investuotojams,

brokeriams, investicines paslaugas siūlančių bendrovių specialistams priimti investicinius sprendimus sau ir pasiūlyti portfelio valdymo paslaugą savo klientams. Be to, profesionaliems specialistams gebėjimas praktikoje naudotis sistema, siūlančia nuodugniais kiekybiniais vertinimais paremtus sprendimus, turėtų būti dar ir keliantis susidomėjimą iššūkis.

- Sukurta sprendimų paramos sistema galėtų prisidėti prie investuotojų švietimo ir investavimo kultūros Lietuvoje ugdymo. Integravus sprendimų paramos sistemos gaires ir pagrindinių elementų veikimo principus į investicijų valdymo, finansų inžinerijos ir kitų giminingų socialinių mokslų srities magistrantūros studijų programų specializacijų atitinkamų dalykų tematikas, išaugtų šios srities specialistų profesionalumas ir padidėtų mokymo medžiagos adekvatumas realiam rinkos vyksmui.

Atlikus pasiūlytus sistemos patobulinimus ir įgyvendinus sistemą praktikoje, ji galėtų tapti investicinių sprendimų paramos kompleksu, kurio kiekvienas elementas egzistuotų kaip nepriklausoma sistema, skirta pagelbėti investuotojui tam tikru sprendimų priėmimo ir valdymo kapitalo rinkoje etapu.

5. Išvados ir pasiūlymai

Išanalizavus per kelis pastaruosius dešimtmečius sukurtas sistemos, padedančias investuotojams prekiauti akcijų rinkoje, padaryta išvada, kad yra didelis kiekybiniais metodais paremtų sprendimų priėmimo priemonių poreikis, didėja tokių priemonių sudėtingumas ir optimalaus sprendimo suradimo uždaviniai suvokiami kaip daugiakriteriniai ir stochastiniai.

Siūlomos investicijų portfelio sprendimų paramos sistemos sprendimų priėmimo posistemyje, o iš dalies jau ir prognozavimo posistemyje remiamasi adekvačiojo portfelio modelio principais, o tai leidžia rasti optimalų portfelį konkrečiam investuotojui suformuojant du erdvinius paviršius: investicijų galimybių paviršių ir investuotojo naudingumo paviršių.

Išdėstyta sprendimų priėmimo procedūra yra analitiškai reikšminga, nes tokiu būdu sprendžiamas stochastinio programavimo uždavinys pasitelkiant imitacines technologijas ir grafinius sprendimų priėmimo būdus.

Siekiant veiksmingai taikyti pasiūlytą sistemą realioje rinkoje, reikia atlikti tam tikrus prognozavimo posistemo ir naudingumo funkcijos sudarymo proceso patobulinimus. Nepaisant to, sistema turi plačias pritaikymo galimybes tarp individualių ir profesionalių investuotojų, taip pat kaip mokomoji priemonė.

Literatūra

Aboulaich, R.; Ellaia, R.; El Moumen, S. 2010. The mean-variance-CVaR model for portfolio optimization modeling using a multi-objective approach based on a hybrid method, *Mathematical Modelling of Natural Phenomena* 5(7): 103–108. <http://dx.doi.org/10.1051/mmnp/20105717>

- Alekseev, A. V.; Borisov, A. N.; Viliams, E. R.; Sliadz, N. N.; Fomin, S. A. 1997. *Intelektualnye sistemy priniatiia projektnykh reshenij*. Riga: Zinatne. 320 p.
- Briec, W.; Kerstens, K.; Jokung, O. 2005. Mean-variance-skewness portfolio performance gauging: a general shortage function and dual approach, *IESEG Working Paper Series* 2005-ECO-5. 36 p.
- Buckley, I.; Saunders, D.; Seco, L. 2008. Portfolio optimization when asset returns have the gaussian mixture distribution, *European Journal of Operational Research* 185: 1434–1461. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2005.03.080>
- Dzemydienė, D. 2006. *Intelektualizuotų informacinių sistemų projektavimas ir taikymas*: monografija. Vilnius: Mykolo Romerio universiteto Leidybos centras. 352 p.
- Ehrgott, M.; Waters, Ch.; Kasimbeyli, R.; Ustun, O. 2009. Multiobjective programming and multiattribute utility functions in portfolio optimization, *INFOR* 47(1): 31–42.
- Fang, Y.; Lai, K. K.; Wang, S.-Y. 2006. Portfolio rebalancing model with transaction costs based on fuzzy decision theory, *European Journal of Operational Research* 175: 879–893. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.020>
- Fasanghari, M.; Montazer, G. A. 2010. Design and implementation of fuzzy expert system for Tehran stock exchange portfolio recommendation, *Expert Systems with Applications* 37: 6138–6147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.02.114>
- French, S.; Turoff, M. 2007. Decision support system, *Communications of the ACM* 50(3): 39–40. <http://dx.doi.org/10.1145/1226736.1226762>
- Guariso, G.; Werthner, H. 1989. Environmental decision support systems, in *Ellis Horwood Series in Computers and Their Applications*. Ellis Horwood Ltd. 242 p.
- Huang, X. 2007. Two new models for portfolio selection with stochastic returns taking fuzzy information, *European Journal of Operational Research* 180: 396–405. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2006.04.010>
- Jana, P.; Roy, T. K.; Mazumder, S. K. 2009. Multi-objective possibilistic model for portfolio selection with transaction costs, *Journal of Computational and Applied Mathematics* 228: 188–196. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cam.2008.09.008>
- Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K.; Trinkūnas, V. 2007. A multiple criteria decision support online system for construction, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 20(2): 163–175. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engappai.2006.06.009>
- Kerstens, K.; Mounir, A.; Van de Woestyne, I. 2008. Geometric representation of the mean-variance-skewness portfolio frontier based upon the shortage function, *Document de travail du LEM 2008-21*, UMR 8179. Brussels. 32 p.
- Kim, C.; Won, C. 2004. A knowledge-based framework for incorporating investor's preference into portfolio decision-making, *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management* 12: 121–138.
- Konno, H.; Shirakawa, H.; Yamazaki, H. 1993. A mean-absolute deviation-skewness portfolio optimization model, *Annals of Operations Research* 45(1): 205–220. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02282050>
- Konno, H.; Yamamoto, R. 2005. A mean-variance-skewness model: algorithm and applications, *International Journal of Theoretical and Applied Finance* 8(4): 409–423. <http://dx.doi.org/10.1142/S0219024905003116>

- Kwasnicka, H.; Ciosmak, M. 2001. Intelligent techniques in stock analysis, in *Proceedings of IIS'2001, Intelligent Information Systems 2001*. Zakopane, Poland, 195–208.
- Lee, J. B.; Stohr, E. A. 1985. Representing knowledge for portfolio management decision making, *Working Paper 101*. Center for Research on Information Systems, New York University. 13 p.
- Lee, J. K.; Kim, H. S.; Chu, S. C. 1989. Intelligent stock portfolio management system, *Expert Systems* 6(2): 74–85. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1468-0394.1989.tb00081.x>
- Lo, A. W.; Petrov, C.; Wierbicki, M. 2003. It's 11pm – do you know where your liquidity is? The mean-variance-liquidity frontier, *Journal of Investment Management* 1(1): 55–93.
- Luo, Y.; Liu, K.; Davis, D. N. 2002. A multi-agent decision support system for stock trading, *IEEE Network*, 20–27.
- Markowitz, H. M. 1952. Portfolio selection, *The Journal of Finance* 7(1): 77–91. <http://dx.doi.org/10.2307/2975974>
- Methlie, L. B.; Sprague, R. H. (Eds.). 1985. *Knowledge Representation for Decision Support Systems*. North-Holland. 276 p.
- Klein, M.; Methlie, L. B. 1995. *Knowledge-Based Decision Support Systems with Applications in Business*. 2nd ed. Wiley. 527 p.
- Power, D. J. 2008. Understanding data-driven decision support systems, *Information Systems Management* 25(2): 149–154. <http://dx.doi.org/10.1080/10580530801941124>
- Prakash, A. J.; Chang, C.-H.; Pactwa, T. E. 2003. Selecting portfolio with skewness: recent evidence from US, European, and Latin American equity markets, *Journal of Banking & Finance* 27: 1375–1390. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4266\(02\)00261-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4266(02)00261-3)
- Rutkauskas, A. V. 2000. Formation of adequate investment portfolio for stochasticity of profit possibilities, *Property Management* 4(2): 100–115.
- Rutkauskas, A. V. 2005. Portfelio sprendimai valiutų kursų ir kapitalo rinkose, *Verslas: teorija ir praktika* [Business: Theory and Practice] 6(2): 107–116.
- Rutkauskas, A. V. 2006. Adekvačiojo investavimo portfelio anatomija ir sprendimai panaudojant imitacines technologijas, *Ekonomika: mokslo darbai* 75: 52–76.
- Rutkauskas, A. V.; Stasytytė, V. 2010. Effectiveness, reliability and subject risk – shaping drivers for the set of possibilities and utility function when investment decision is made under uncertainty, in *The 6th International Scientific Conference “Business and Management 2010”*: Selected papers. May 13–14, 2010, Vilnius, Lithuania, 176–183. ISSN 2029-4441.
- Rutkauskas, A. V.; Stasytytė, V. 2011. Optimal portfolio search using efficient surface and three-dimensional utility function, *Technological and Economic Development of Economy* 17(2): 291–312. <http://dx.doi.org/10.3846/20294913.2011.580589>
- Samaras, G. D.; Matsatsinis, N. F. 2004. Intelligent investor: an intelligent decision support system for portfolio management, *Operational Research International Journal* 4(3): 357–371. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02944152>
- Smimou, K.; Bector, C. R.; Jacoby, G. 2008. Portfolio selection subject to expert judgments, *International Review of Financial Analysis* 17: 1036–1054. <http://dx.doi.org/10.1016/j.irfa.2008.04.004>
- Soler, J. S. B.; Cid, E. A.; Blanco, M. O. F. 2010. Several risk measures in portfolio selection: is it worthwhile?, *Spanish Journal of Finance and Accounting* 39(147): 421–444.
- Stasytytė, V. 2008. From two-dimensional profit-risk to three-dimensional profit-reliability-risk in capital markets, in *The 20th International Conference, EURO Mini Conference “Continuous Optimization and Knowledge-Based Technologies” (EUROPT- 2008)*: Selected papers. May 20–23, 2008, Neringa, Lithuania, 149–153.
- Stasytytė, V. 2011. *Investicijų portfelio sprendimų paramos sistema: daktaro disertacija*. Vilnius. 164 p.
- Steuer, R. E.; Qi, Y.; Hirschberger, M. 2005. Multiple objectives in portfolio selection, *Journal of Financial Decision Making* 1(1): 11–26.
- Steuer, R. E.; Qi, Y.; Hirschberger, M. 2007. Suitable-portfolio investors, nondominated frontier sensitivity, and the effect of multiple objectives on standard portfolio selection, *Annals of Operations Research* 152: 297–317. <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-006-0137-1>
- Steuer, R. E.; Qi, Y.; Hirschberger, M. 2008. Portfolio selection in the presence of multiple criteria, in *Handbook of Financial Engineering. Optimization and Its Applications* 18(1): 3–24.
- Tunčikienė, Ž.; Bivainis, J.; Drejeris, R. 2010. Integrated DSS for strategic planning in public institutions, *Journal of Business Economics and Management* 11(4): 671–688. <http://dx.doi.org/10.3846/jbem.2010.33>
- Vaitkevičiūtė, V. 2001. *Tarptautinių žodžių žodynas*. Vilnius: Alma Littera. 790 p.
- Xidonas, P.; Mavrotas, G.; Zopounidis, C.; Psarras, J. 2011. IPSSIS: an integrated multicriteria decision support system for equity portfolio construction and selection, *European Journal of Operational Research* 210: 398–409. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2010.08.028>
- Yong, C. C.; Taib, S. M. 2009. Designing a decision support system model for stock investment strategy, in *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2009 I*. San Francisco, USA.
- Zouponidis, C.; Doumpos, M. 2002. Multi-criteria decision aid in financial decision making: methodologies and literature review, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 11: 167–186. <http://dx.doi.org/10.1002/mcda.333>
- Zopounidis, C.; Doumpos, M.; Matsatsinis, N. F. 1997. On the use of knowledge-based decision support systems in financial management: a survey, *Decision Support Systems* 20: 259–277. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-9236\(97\)00002-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-9236(97)00002-X)