

## Finansinio kapitalo rinkų dinamikos analizė naudojant šiuolaikinius dirbtinio intelekto sistemų metodus

### Leonas Simanauskas

Profesorius socialinių mokslų  
habilituotas daktaras  
Vilniaus universiteto  
Ekonominės informatikos katedra  
Saulėtekio al. 9, II rūmai, LT-2040 Vilnius  
Tel. (370 5) 236 62 92  
El. paštas: leonas.simanauskas@ef.vu.lt

### Darius Plikynas

Doktorantas  
Vilniaus universiteto  
Teorinės ekonomikos katedra  
Saulėtekio al. 9, II rūmai, LT-2040 Vilnius  
Tel. (869 8) 2 94 65  
El. paštas: d.plikynas@post.omnitel.net  
www.omnitel.net/neuraleconom

*Straipsnyje nagrinėjamos finansinio kapitalo sektoriaus veiklos analizės ir prognozės problemos ir siūlomi efektyvūs jų sprendimo būdai. Parodoma, kad tradicinė finansinio kapitalo rinkų kitimo analizė, besiremianti tiesine paradigma, jau nėra efektyvi kriziniais ir pereinamaisiais (nepusiausviriais) laikotarpiais, kai vyrauja chaotiškoms sistemoms būdingi neperiodiniai svyravimai. Nagrinėjama, kaip šių problemų optimaliam sprendimui siūloma pritaikyti dirbtinio intelekto sistemų metodus, kurie šiuolaikinių informacinių technologijų dėka išplečia tradicinės analizės galimybes. Pasiūlyta bendra tyrimų schema, susidedanti iš nuoseklių ir metodiškai pagrįstų tyrimo etapų pradedant tyrimo objekto dinamikos analize ir baigiant jo elgesį prognozuojančių modelių sudarymu ir tyrimu.*

### Įvadas

Pasaulyje vyksta ekonomikos globalizacija, atsiranda postindustrinė ekonomika, formuojasi informacinė visuomenė. Naujomis sąlygomis tampa vis sudėtingesni ir ūkyje vykstantys procesai. Jiems tirti tradicinė ekonominė analizė, kuri remiasi tiesinės paradigmos taikymu, tampa neefektyvi, nes reikia gilesnio procesų pažinimo, siejamo su netiesiškumu. Naujų netiesinių koncepcijų iešką ir jų realizavimo idėją palankiai sutiko ekonomistai praktikai ir finansų analitikai, kurie dažnai susiduria su finansinio kapitalo rinkų netiesiniu elgesiu, netikėtais kainų svyravimais, neprognozuotais pokyčiais ar ekonominėmis krizėmis.

Dabar jau niekam nekelia abejonių, kad netiesiniai analizės ir prognozės metodai geriausiai tinka tirti nepusiausvirius procesus, kurie nepasizymi aiškiais trendais, periodiniais svyravimais ar tiesiniais dėsniais. Pirmųjų tokių metodų taikymą riboja didelės skaičiavimo darbų sąnaudos. Tikras jų plėtros šuolis įvyko, kai atsirado galinga skaičiavimo technika, o su ja ir šiuolaikinės informacinės technologijos išskirtytomis duomenų bazėmis, pasauliniais ryšio kanalais, lygiagrečiomis procesorinėmis sistemomis ir t. t., galinčios realiu laiku kaupti, apdoroti ir sintetinti informaciją bei netiesinių sistemų dinamikai modeliuoti dirbtinio intelekto sistemų metodus (chaotiškos sistemos, fraktalai, dirbtiniai

neuroniniai tinklai, genetiniai algoritmai, neryški logika).

Iš daugybės netiesinių metodų atrinkti tinkantys spręsti nagrinėjamą problemą. Ieškota, kas yra būdinga netiesiniam finansinio kapitalo rinkų suminių rodiklių elgesiui. Nustatyti pagrindiniai ieškos kriterijai metodų, kurie gali natūraliu būdu paaiškinti ir prognozuoti sudėtingą finansinio kapitalo rinkų elgesį. Lankstumo, netiesiškumo ir efektyvumo požiūriu autoriai išskyrė dirbtinius neuroninius tinklus (DNT), chaotiškas sistemas, fraktalus, genetinius algoritmus ir neryškią logiką, kurie geriausiai pasiteisina netiesinės dinamikos tyrimuose [2].

DNT metodais atlikti tyrimai ir pasiūlyti finansinio kapitalo rinkų elgesio prognozavimo modeliai bei konkretūs programiniai moduliai. Pasiūlytos priemonės gali būti panaudotos analizuoti ir prognozuoti įvairių suminių rodiklių kitimą. Gauti praktiniai rezultatai leidžia iš karto, be darbo imlių konfigūravimo ir optimizavimo etapų, panaudoti juos analizuoti ir prognozuoti bet kokių (finansinių ar ekonominių) duomenų sekų kitimą. Netiesinių modelių (palyginti su tiesiniais) pranašumas ypač išryškėja juos taikant nepusiausvirišiais, t. y. kriziniais ir pereinamaisiais, periodais, kai tiriamoms sistemoms yra būdingas chaotiškas elgesys.

Straipsnyje siūlomi kasdienio analitinio darbo automatizavimo sprendimai, kai vien žmogaus patirties ir nuovokumo nepakanka pereinamųjų, krizinių ar retai pasikartojančių reiškiniių analizei ir prognozei. Tradiciniai finansinio kapitalo rinkų kitimo analizės ir prognozės metodai bei juos realizuojantys sprendimai yra efektyvūs pusiausvyros, aiškiais trendais išreikštais periodais, tačiau nėra veiksmingi (finansiniu požiūriu) skausmingais atvejais, kai sistema nukrypsta nuo įprastos būsenos ir tampa nestabili. Neprognozuoja-

mas finansinio kapitalo rinkų elgesio kitimas (nestabilumas) yra labai aktuali problema, nes rinkų dalyviai patiria didelę investicinę riziką ir nuostolius.

## **1. Finansinio kapitalo rinkų dinamikos tyrimai informacinio amžiaus technologijų požiūriu**

Finansinio kapitalo rinkų elgesio dinamika yra pakankamai sudėtingas tyrimo objektas, kurio neįmanoma nagrinėti atsietai nuo pačių rinkos dalyvių ar jų sprendimus lemiančios aplinkos analizės. Investicinėse rinkose galutinius sprendimus priima žmonės, kurių elgesio modeliavimas dar visai neseniai „tilpo“ į paprastus tiesinius modelius. Pastarieji rėmėsi trimis pagrindinėmis prielaidomis: racionalaus investuotojo hipoteze (tiesinė investuotojo reakcija į naują informaciją), stipria efektyvios rinkos hipoteze ir atsitiktiniu kitimu pagal normalųjį dėsnį [5]. Nustatyta, kad minėtos prielaidos negali paaiškinti nepusiausvirių finansinio kapitalo rinkų elgesio kriziniais ar pereinamaisiais laikotarpiais. Ekonomistai ir finansų analitikai jau seniai pastebėjo realioje ekonomikoje matomus nuokrypius nuo tiesinės teorijos, bendrą pusiausvyros modelių, normaliojo skirstinio ir efektyvios rinkos hipotezės.

Klasikinė teorija pagrįsta racionalių gerai informuotu investuotoju, priimančiu sprendimus akimirksniu (investuotojas informacijos nekaupia ir neturi atminties) pagal savo naudojimo funkcijas. Tyrimai rodo, kad racionalių investuotojų veikla gali būti gerai aprašoma statistikos metodais, tačiau realiame pasaulyje tokių idealių investuotojų nėra. Pirma, investuotojai nėra gerai informuoti, jie dažniausiai sprendimus priima neturėdami tikslios ir laiku turimos informacijos. Antra, jie nėra racionaliūs, nes jiems būdinga masių

psichologija ir iracionalus elgesys. Trečia, investuotojai nepriima sprendimų akimirksniu, jie kaupia kritinę informaciją, t. y. turi atmintį. Straipsnyje pagrindžiama, kad visa tai lemia sudėtingą naudojamų modelių dinamiškumą, nestacionarumą ir sudėtingumą (angl. *complex*). Todėl vis daugiau finansų rinkų analitikų ieško alternatyvių teorijų, kurios galėtų paaiškinti ir numatyti finansų rinkose įvykstančius šokus, krizes ir neprognozuotus pokyčius. Pažangiausios pasaulio finansų institucijos jau nuo praėjusio amžiaus septintojo dešimtmečio praktiškai naudojasi netradicinėmis netiesinės dinamikos analizės priemonėmis [6], kurios bendrai vadinamos sudėtingumo teorija (angl. *Complexity Theory*). Naujoji teorija finansų rinkų analizėje vis plačiau taikoma ir vis daugiau sukauptiama praktinių įrodymų jos naudai, todėl prognozuojamas naujos netiesinės ekonomikos paradigmos įsigalėjimas. Naujų netiesinių metodų naudojimas leidžia aplenkti konkurentus, nustatant rinkos informacijos patikimumą, atliekant trumpo laikotarpio prognozes, numatant ekonomikos raidos kryptį ir galimybę pereiti iš stabilios raidos į nestabilią (turbulentinę).

Sudėtingumo teorija yra tarpdisciplininė. Ji remiasi šiuolaikinėmis informacinėmis technologijomis ir dirbtinio intelekto sistemomis, t. y. dirbtinių neuroninių tinklų, chaoso, fraktalų, neryškios logikos ir genetinių algoritimų metodais. Atlikta analizė rodo, kad dirbtinio intelekto sistemų skirtingi metodai, taikomi kartu, gali padėti analizuoti sudėtingas kompleksines problemas, prognozuoti krizinių periodų atsiradimą, nuspėti retai pasikartojančius reiškinius, tirti netiesinių reiškinų dinamiką ir t. t. Tai ypač aktualu konkurencinėje kovoje dėl investicijų, kai reikia efektyviai valdyti įvairias rizikas ir tiksliai prognozuoti. Tyrimai rodo, kad tam geriausiai tinka remiantis šiuolaikinėmis informacinėmis technologijo-

mis realizuoti dirbtinio intelekto sistemų sprendimai, galintys realiu laiku modeliuoti netiesinių sistemų dinamiką.

Be abejo, tobulėjančios informacinės technologijos pakeitė ir finansinio kapitalo rinkas – atsirado elektroninės vertybinių popierių biržos, elektroninė prekyba, realaus laiko informavimo sistemos, automatizuotos portfelio sudarymo priemonės ir t. t. Pažangiausios pasaulio finansinių tarpininkų institucijos jau nuo aštuntojo dešimtmečio praktiškai naudoja įvairias netiesinės analizės priemones [2]. Į šiuolaikinę finansinio kapitalo rinkų teoriją sklinasi kelių pažangios fizikos, matematikos, biologijos bei informacijos technologijų mokslų analitinės koncepcijos, teorijos, sistemos ir metodai (1 pav.). Finansinio kapitalo rinkose vykstantys procesai gali būti analizuojami kituose moksluose puikiai taikomomis tarpdisciplininėmis analizės priemonėmis.

Netiesinių metodų naudojimas didina problemų įvertinimo neapibrėžtumą, nes nebelineka optimalių vienareikšmių sprendinių (būdingų tiesinei analizei), o lieka tenkintis tikimybių tyrimu pasaulyje, kuris gali esant atitinkamoms kritinėms sąlygoms netikėtai iš esmės pasikeisti. Naujas požiūris mažina aplinkos kontroliavimo galimybes, tačiau duoda bendresnį pasaulio vaizdą. Kaip pažymi Alvinas Toffleris savo veikalė „Trečioji banga“, realiame gyvenime nėra nepriklausomų kintamųjų, bet yra viena didelė (viduje susijusi) begalinio sudėtingumo sistema.

Išskirtina tai, kad klasikinės analizės visi procesai aprašomi determinuotais ir stabiliais sąryšiais, ieškant bendrų pusiausvyros modelių, o netradicinės analizės – chaotiškais ir nestabiliais, ieškant krizes, šokus ar staigius kitimus imituojančių modelių.

Naujų priemonių kapitalo rinkų teorijai davė keletas žymių mokslo institucijų, pavyzdžiui, Santa Fe institutas (Santa Fe Institute,

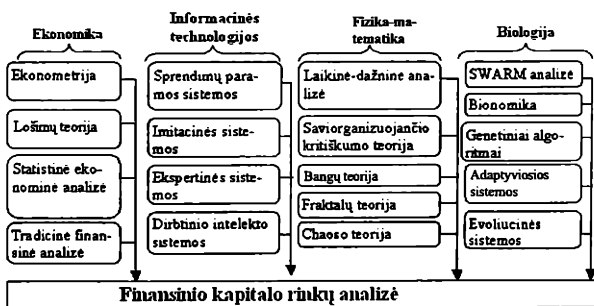
JAV), Los Alamos nacionalinė laboratorija (Los Alamos National Laboratory, JAV), Masačiūseto technologijos institutas (MIT, JAV) ir kiti pirmaujantys ekonominės minties plėtros centrai. Juose, ieškant efektyvesnių ekonominės analizės įrankių, buvo sukurta daugybė euristinio modeliavimo teorijų ir koncepcijų (dirbtinio intelekto, dirbtinės gyvybės, chaoso, SWARM, adaptyvių sistemų ir t. t.).

Jau yra sukurta visiškai automatizuotų investicinio portfelio formavimo mechanizmų, kai investuotojas įveda pradinės sąlygas ir apribojimus, o „juodoji dėžė“ duoda atsakymus. Šios sistemos dažniausiai turi realizuotas matematinės taisykles, žinių bazes ir veikia kaip ekspertinės ar sprendimų paramos sistemos. Deja, tokios sistemos turi trūkumų. Jos nelanksčios, ilgai trunka žinių bazių formavimas (nagrinėjamos srities ekspertų apklausa), todėl dabar yra populiareesnės realaus laiko dirbtinio intelekto sistemos (DIS), gebančios pačios mokytis ir rasti sprendimus sudėtingais netiesinėmis dinamikos atvejais.

Tiriant finansinio kapitalo rinkų elgesį, jos kitimo analizės ir prognozavimo metodų pasirinkimas priklauso nuo to, koks portfelis formuojamas: investicinis ar paskolų. Formuo-

jant investicinį portfelį investuojama į finansinio kapitalo veiksmus (pirminiai ir išvestiniai vertybiniai popieriai – 2 pav.). Kai atlikus fundamentinę ar techninę analizę siekiama surasti nuvertintą, bet likvidų ir perspektyvų kapitalą, formuojamas norimo pelningumo esant pasirinktai rizikai arba norimos rizikos esant tam tikram pelningumo lygiui portfelis. Formavimas susideda iš diversifikuoto kapitalo grupių sudarymo, svorių koeficientų kiekvienai grupei priskyrimo ir grupės narių išrinkimo [1].

Akivaizdu, kad kiekvienas investicinio portfelio formavimo etapas turi savo atskiras metodus. Bendru atveju remiamasi pagrindiniais portfelio diversifikavimo, rizikų padengimo (angl. *hedging*) ir likvidumo principais. Dažniausiai investuotojai bijo „visus kiaušinius sudėti į vieną krepšį“, todėl yra linkę apdrausti savo riziką. Apibendrinus tyrimo medžiagą, paaiškėja, kad tam tikslui atliekamas investicijų dinaminis valdymas, t. y. optimizavimas, diversifikavimas ir prognozavimas (2 pav.). Pirmu atveju strateginis tikslas – gauti optimalų portfelį, riziką ir pelną paskirsčius taip, kad esant tam tikrai rizikai būtų gaunamas maksimalus pelnas. Antru atveju strateginis



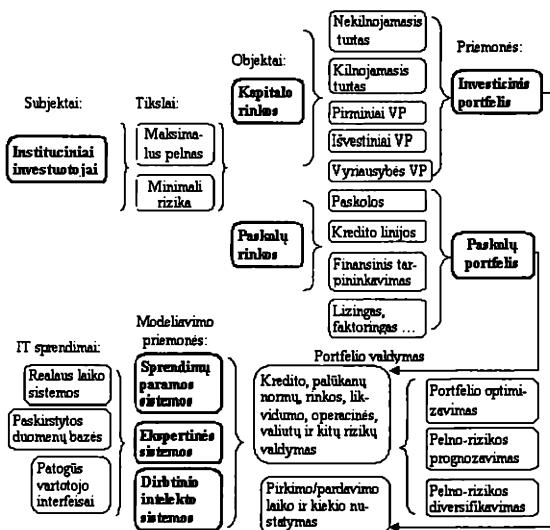
1 pav. Šiuolaikinėje finansinio kapitalo rinkų analizėje taikomos įvairios teorijos ir tarpdisciplininiai, įvairių mokslų naudojami tyrimo metodai (autorių susisteminta medžiaga)

tikslas – sudaryti portfelį taip, kad rizikingas investicijas visada „padengtų“ nerizikingų investicijų pelnas. Trečiu atveju strateginis tikslas – nustatyti verslo subjekto bankroto tikimybę, mokumą, perspektyvas ir t. t. Visiems trimis strateginiams tikslams pasiekti yra sukurta teorijų, metodų ir procedūrų.

Atlikta analizė rodo, kad investicinių portfelių valdymas priklauso nuo jų formavimo būdo. Antai konformistiniai (angl. *conformance*) portfeliai – stacionarūs, jų struktūra nepriklauso nuo rinkos konjunktūros; taktiniai (scenariiniai) portfeliai – jų struktūra priklauso nuo rinkos konjunktūros; optimizuoti portfeliai – jų struktūra kinta priklausomai nuo pasirinkto maksimizuojančio ar minimizuojančio sėkmės kriterijaus. Pastarieji portfeliai, pritaikius du ar daugiau sėkmės kriterijų, gali pakankamai objektyviai atspindėti investuotojo lūkesčius.

Dinaminio investicinio portfelio valdymas (dinaminis portfelis keičiamas pagal einamąją rinkos informaciją, kad atitiktų keliamus kriterijus) nesibaigia jo suformavimu. Jis nuolat turi atitikti iškeltus pelno-rizikos kriterijus, todėl būtina periodiškai jį koreguoti, t. y. reikia nustatyti portfelį formuojančio finansinio kapitalo pirkimo / pardavimo laiką ir kiekį (portfolio einamasis valdymas) [7].

Labai panašūs, autorių nuomone, ir paskolų portfelio formavimo principai. Tik čia labiau išryškėja rizikų valdymo veiksnys ir paskolų portfelio likvidumas. Paskolinių investicijų portfelius formuoja finansiniu tarpininkavimu (paskolos, kreditavimo linijos, lizingas, faktoringas ir t. t.) besiverčiančios finansų institucijos, pavyzdžiui, komerciniai bankai (2 pav.). Finansiniai tarpininkai privalo rūpintis savo portfelių valdymu dėl rizikos



2 pav. Investavimo proceso ir jo valdymo šiuolaikinėmis IT priemonėmis bendra schema (autorių susisteminta medžiaga)

ir likvidumo (užstatai, garantai), tačiau dėl trumpalaikio pelno, asmeninių ambicijų ar dėl rinkos konjunktyūros yra nesuvaldomi piniginiai srautai ir neįvykdomi finansiniai išsipareigojimai. Po bankų krizių, kurios pastaruoju metu vis dažniau sukrečia tarptautines kapitalo rinkas, kilo vyriausybių ir atitinkamų priežiūros institucijų (paprastai – centrinių bankų, audito kompanijų) susirūpinimas rizikų valdymo kokybe. Kredito, palūkanų normų, rinkos, likvidumo, operacinės, valiutų ir kitos bankinės rizikos tapo didesnio dėmesio objektais, todėl rizikų valdymas yra labai aktuali problema.

Analizė rodo, kad rizikos modelių tobulinimas finansų institucijose ir ypač bankuose gerokai paspartėjo: atsirado naujų apribojimų, kurių privalu laikytis siekiant patenkinti minimalius rizikos valdymo reikalavimus. Visų pirma kalbama apie Bazelio komiteto sprendimus [8]. Juose, vertinant įvairias bankų veiklos finansines rizikas, reikalaujama laikytis tam tikrų privalomų principų. Tuo siekiama efektyviau valdyti rizikas, nes finansinis sektorius yra pasauliniu mastu glaudžiai susijęs ir krizė viename banke ar finansiniame sektoriuje gali paveikti visą regioną, sukeldama sumaištį finansų rinkose, nuostolius ar net socialinius neramumus (pavyzdžiui, Azijos finansų krizė, LTCM fondo ar nesenas ENRON finansų grupės žlugimas).

Pažymėtina, kad išsivysčiusiose šalyse jau prieš kelis dešimtmečius pirmieji kredito modeliai buvo sudaromi atsižvelgiant į skolininko finansinius rodiklius, nemokumą ir kitus stebimus veiksnius. Kurį laiką susidomėjimas šiais modeliais buvo atslūgęs, bet po daugelio sukretimų finansų rinkose susidomėjimas vėl padidėjo. Autorių nuomone, tai suaktyvino ir Bazelio susitarimai, kuriuose nutarta uždegti „žalią šviesą“ ieškoti naujų rizikos vertinimo kriterijų. Naujieji modeliai apima ir transak-

cijų, ir portfelio rizikas, susiedami jas su skolininkų finansiniais rodikliais, bankrotais ir skolinimo reitingais. Bankrotų tikimybės modeliavimas tapo prioritetu.

Detaliau išnagrinėjus naudojamus metodus, paaiškėjo, kad naujieji modeliai dažnai remiasi neuroninių tinklų, chaoso, fraktalų ir genetinių algoritmų metodais, t. y. dirbtinio intelekto sistemomis, kurios tapo praktiškai priimtinos, pasiekus reikiamą informacinių technologijų lygį. Tai leido realiu laiko režimu efektyviai analizuoti nestacionarias dinamines eilutes, atlikti prognozes, klasifikavimo uždavinius bei, pasinaudojus portfelio optimizavimo metodais, atlikti portfelinės investicijos diversifikavimą. Tačiau išryškėjo ir pagrindinė problema – duomenų trūkumas (pavyzdžiui, bankai neturi sukaupę pakankamos duomenų bazės apie kiekvieno verslo sektoriaus įmonių bankrotus), todėl Bazelio komitetas kaip privalomą sąlygą išskėlė iki 2004 metų kaupti įvairiausių kliento, sektoriaus, rinkos ir susijusių veiksnių duomenis (3 pav.). Kuo daugiau informacijos turima, tuo efektyviau ir tiksliau veikia DIS metodai, kuriais remiantis priimami sprendimai prieš tai buvusių analogiškų atvejų pavyzdžiu (pavyzdžiui, dirbtinių neuroninių tinklų mokymas).

Paskolų portfelio formavimą informaciniu požiūriu siūloma atlikti etapais (3 pav.). Pirmiausiai surenkama verslo informacija apie paskolų portfelio klientus. Po to ruošiama klientų analitinio pobūdžio rizikos-pelno informacija – apdorojama klientams kredituoti potencialios rizikos ir galimo pelno požiūriu reikalinga informacija, pavyzdžiui, nustatomas maksimalus galimas nuostolis, išorinių agentūrų reitingai ir t. t. Kita informacijos dalis surenkama iš valstybinių registrų, verslo asociacijų, statistikos šaltinių, verslo partnerių ir t. t. Informacinės technologijos naudoja vietinius ir komunikacinius tinklus, integruo-

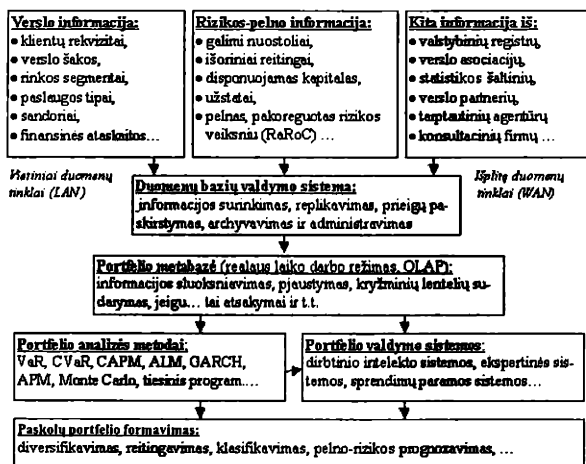
tas ir išskirstytas duomenų bazes. Dauguma sistemų privalo veikti realiu laiko režimu (*OLAP* technologija – *On Line Access and Processing*) su replikavimo technologijomis ir rezervinius serverius. Dažniausiai naudojama kliento-serverio architektūra su kelių lygių apsaugos sistemomis. Duomenys iš įvairių informacijos šaltinių patenka į centrinės būstinės pagrindinių tarnybinių stočių (serverių) duomenų bazes. Naudojant specializuotas duomenų bazių valdymo sistemas (DBVS) yra tvarkomas informacijos surinkimas, replikavimas, prieigų paskirstymas, archyavimas ir administravimas.

Integruotos DBVS leidžia realiu laiku atlikti konsoliduotas ataskaitas. Tam tikslui naudojamos duomenų bazių užklausų programinės kalbos (pvz., *SQL*). Tačiau dabar vis labiau plinta metabazės (pavyzdžiui, *Business Objects* ir kitos), kurios *OLAP* technologijų dėka virtualiai sujungia skirtingas duomenų bazes ir sudaro vieną virtualią integruotą duomenų bazę. Jos pasižymi labai patogiu

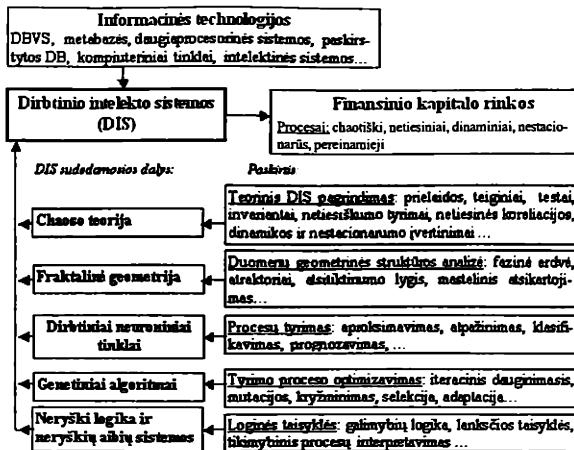
virtotojo interfeisu, informacijos slauksniaivimu, pjaustymu, kryžminių lentelių sudarymu, jeigu... tai atsakymų generavimu, automatizuotu įvairiausių ataskaitų rengimu ir t. t.

Duomenų metabazės labai palengvina paskolų portfelio analizę, nes tampa lengvai prieinami reikalingi duomenys. Paskolų portfelio analizei naudojami VaR, CVaR, CAPM, ALM, GARCH, APM, Monte Carlo, tiesinio programavimo ir daugybė kitų metodų, (žr. 3 pav.). Kiekvienas metodas turi savo specifiką, t. y. savo pranašumus ir trūkumus, todėl naudojami kompleksiniai metodai, sujungiantys įvairias tų pačių procesų analizės metodikas.

Taip pat aptarti finansinio kapitalo rinkų suminių rodiklių netiesinės dinamikos, naudojant dirbtinio intelekto sistemų metodus, analizės ir prognozės galimybių tyrimai. Pastariesiems buvo pasirinkti dirbtinio intelekto metodai ir tik remiantis šiais metodais atlikta konkreiti analizė. Tokį pasirinkimą lėmė dirbtinio intelekto metodų ryšys, kuris tapo akivaizdus atlikus jų taikymo srities, pradinių



3 pav. Paskolų portfelio valdymo informacinė aplinka (autorių susisteminta medžiaga)



4 pav. DIS sudedamosios dalys ir jų paskirtis bendroje tyrimo schemoje ( autorių susisteminta medžiaga)

tyrimo objekto ir apribojimo sąlygų prielaidų analizę. Nustatyta, kad dirbtinio intelekto metodai (chaotiškos sistemos, fraktalai, dirbtiniai neuroniniai tinklai, genetiniai algoritmai, neryški logika), veikdami išvien, sudaro sistemą, galinčią intelektualiai spręsti daugumą sudėtingų netiesinių problemų (4 pav.). DIS padeda aptikti netiesinius ryšius, nustatyti kitimo struktūras, atpažinti sudėtingus procesus, klasifikuoti juos, atlikti optimizavimo uždavinius, surasti galimybinus pasiskirstymus ir t. t.

Chaotiškų sistemų teorija kartu su fraktaline geometrija sudaro fundamentalų teorinį naujosios DIS koncepcijos pagrindą. Su jų pagalba formuojamos naujosios koncepcijos prielaidos, pagrindiniai teiginiai, aprašomoji matematinė kalba ir modeliai. Tuo tarpu DNT yra skirti duomenų analizei, t. y. atpažinimo, aproksimavimo, klasifikavimo ir prognozavimo tyrimams, o genetiniai algoritmai bendroje sistemoje atlieka optimizavimo ir adaptacijos funkcijas. Galiausiai neryški logika tarsi

cementas suriša kitus DIS blokus, t. y. suderina įvairias galimybes (chaotiškoms sistemoms būdingi nevienareikšmiai įvairūs sprendiniai), sukuria lanksčias sprendimų tikimybinio pasiskirstymo interpretavimo taisykles (4 pav.).

## 2. Skirtingi dirbtinio intelekto sistemų metodai bendroje tyrimų schemoje

Susisteminta teorinė medžiaga panaudota praktiniams tyrimams. Pagrindinis tikslas – atskleisti dirbtinio intelekto metodų analizės ir prognozės galimybes, tiriant finansinio kapitalo rinkų suminių rodiklių netiesinę dinamiką. Analizės metu laikytasi tam tikros tyrimų schemos (5 pav.), kurią sudaro trys pagrindiniai tyrimų etapai. Jie apibendrintoje tyrimų schemoje pažymėti dvigubo rėmelio linija. Tyrimų rezultatas – veikiantys modeliai, kurie buvo realizuoti panaudojus reikiamą programinę įrangą. Modeliai nesusiję su konkrečiais duomenimis, todėl juos galima naudoti



įvairiausių finansinių ar ekonominių rodiklių analizei ir prognozei.

5 paveiksle pateikta tyrimo schema pasirinkta neatsitiktinai. Ją nulėmė teorinės medžiagos apie dirbtinio intelekto sistemų taikymą analizė (4 pav.), todėl tyrimų eiga nuosekliai rodo skirtingų DIS metodų taikymo eiliškumą.

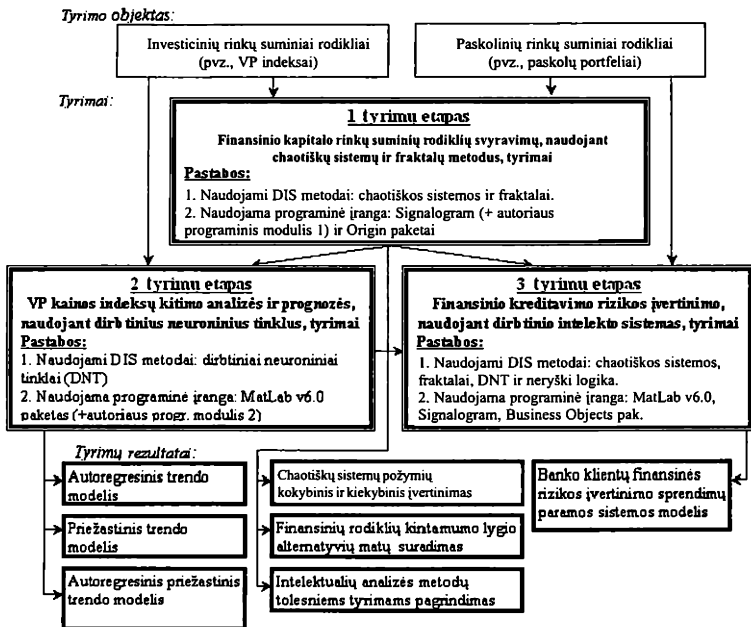
Atskirai aptarsime kiekvieną tyrimą ir gautus pagrindinius rezultatus.

**Pirmas tyrimų etapas – finansinio kapitalo rinkų suminių rodiklių svyravimų, naudojant chaotiškų sistemų ir fraktalų metodus, tyrimai.** Pagrindinis šio etapo tikslas – surasti ir iširti finansinio kapitalo rinkoms būdingus netiesinius dinaminis procesus (žr. 5 pav.). Tam tikslui nustatomi determinuoto chaoso

požymiai (chaoso detektavimo testai) ir apibūdinamos chaotiškos sistemos (chaotiškų invariantų ieška). Jeigu surandama nagrinėjamų duomenų determinuotų chaotiškų sistemų požymių, vadinasi, sudėtingą netiesinį tiriamos sistemos elgesį lemia determinuoti procesai, kuriuos kitais tyrimo etapais, pavyzdžiui, naudojant dirbtinius neuroninius tinklus, yra tikslinga analizuoti ir prognozuoti jų elgesį [5].

Pirmo etapo tyrimai atlikti pagal iš anksto suplanuotą tyrimų schemą (6 pav.), kurioje pavaizduoti determinuoto chaoso ieškos laikinėse duomenų sekose pagrindiniai žingsniai.

Tyrimas pradedamas nulinės hipotezės, t. y. teigimo apie determinuoto chaoso egzistavimą,

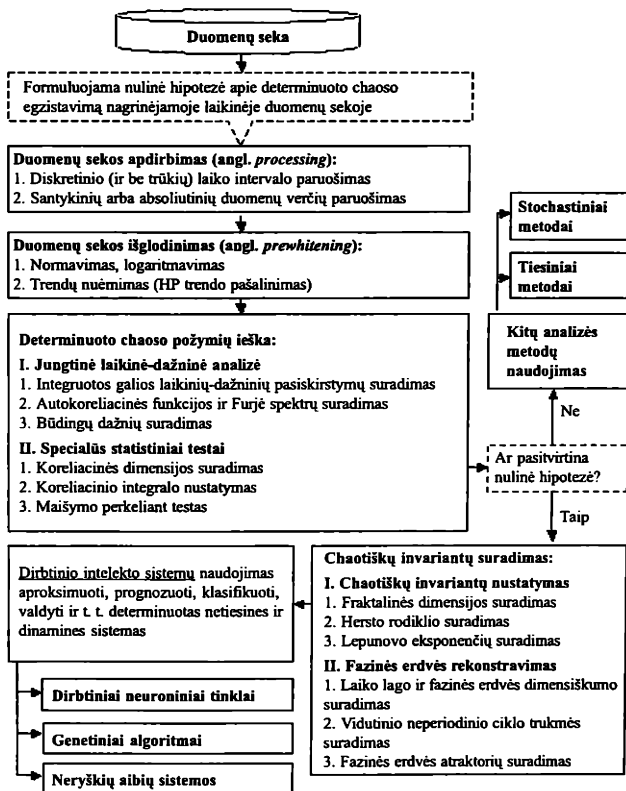


5 pav. DIS galimybių tyrimų bendra schema (pagal ją autoriai atliko sisteminę analizę)

nagrinėjimu duomenų sekoje. Tolesnis žingsnis – duomenų sekos paruošimas: duomenų seka turi būti diskretinė ir be trūkių laiko ašyje. Kiti žingsniai – laikinės sekos išglodinimas (išlyginimas ir trendo pašalinimas), o vėliau – determinuoto chaoso požymių ieška. Šis žingsnis susideda iš jungtinės laikinės-dažninės analizės tyrimų (jie padeda vizualizuoti svyravimų dažnio kitimą per laiką) ir specialių statistinių testų taikymo. Jeigu

chaoso detektavimo testai yra teigiami, patvirtinama nulinė determinuoto chaoso egzistavimo hipotezė. Tuomet galima pereiti prie chaotiškų invariantų nustatymo, to reikia kiekybiškai apibūdinti chaotiškų sistemų požymius.

Kiekviename tyrimų žingsnyje autoriai ieško paprastų ir originalių sprendimų, kurie leistų gauti patikimus rezultatus. Panaudota originali jungtinės laikinės-dažninės analizės



6 pav. Pirmo tyrimų etapo bendra schema

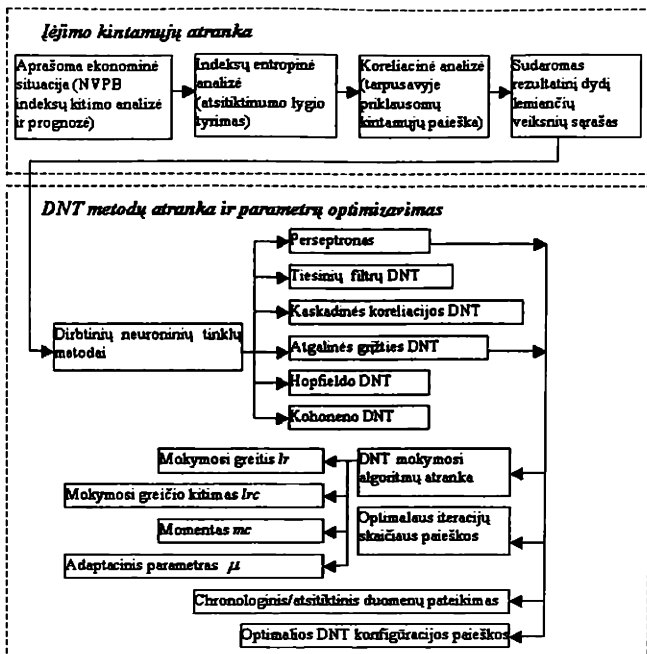
metodika leidžia supaprastinti chaotiškų struktūrų iešką ir analizę. Ši metodika teikia galimybę atlikti pirminius determinuoto chaoso ieškos testus ne skaitmeniniu, o vizualiniu būdu pagal integruotos galios laikinius-dažninius pasiskirstymus. Tam tikslui pasinaudota originalia programine įranga [9] (programos paketas „Signalogram“ laisvai prieinamas pasauliniame žiniatinklyje adresu: <http://signalogram.tinklapis.lt>), su kurios pagalba autoriai sukūrė atskirą R/S analizės modulį ir atliko visus pirminės statistinės analizės darbus [10]. Kadangi šiame straipsnyje apsiribojama kelių tyrimų bendra apžvalga, toliau pateikiami tik pagrindiniai rezultatai ir išvados.

Pagal pasirinktą schemą atlikta tyrimo objekto kitimo analizė leido vėliau sudaryti jo eilgesį prognozuojančius modelius, kurie buvo realizuoti naudojant atitinkamą programinę įrangą [9; 12]. Modeliai nesusiję su konkrečiais duomenimis, todėl juos galima naudoti įvairiausių finansinių ar ekonominių rodiklių kitimo analizei ir prognozei. Panaudojus bendrą tyrimų schemą, optimizuotas pagrindinis straipsnyje iškelto uždavinio sprendimas, t. y. visapusiškiau atskleistas dirbtinio intelekto metodų analizės ir prognozės galimybės tiriant finansinio kapitalo rinkų suminių rodiklių netiesinę dinamiką.

Apibendrinant galima teigti, kad pirmu tyrimų etapu, atlikus JAV, ES, Rusijos ir Lietuvos investicinių rinkų suminių rodiklių kitimo analizę (tyrimo laikotarpis svyruoja nuo 6 metų iki 60 metų), nustatyti suminių rodiklių laikinių sekų kitimo dinamikai būdingi determinuotų chaotiškų sistemų požymiai, kurie įvertinti kokybiškai, panaudojus chaotiškų sistemų detektavimo testus, ir kiekybiškai, nustačius chaotiškus invariantus. Įrodyta, kad jungtinė laikinė-dažninė analizė (chaotiškų sistemų detektavimo testas) yra efektyvus kokybinis periodinių ir neperiodinių svyravimų analizės

ir vizualizavimo būdas, o R/S analizė – efektyvus kiekybinis chaotiškų invariantų įvertinimo metodas [11]. Chaotiškų invariantų suradimas leido nustatyti tyrimo objekto kitimo fraktalinę prigimtį, determinuotų procesų egzistavimą ir alternatyvų kintamumo lygio matavimo būdą, kuris greta standartinio nuokrypio gali būti naudojamas tiksliau vertinti laikinių sekų kintamumo lygį.

*Vertybinių popierių kainos indeksų kitimo analizės ir prognozės, naudojant dirbtinius neuroninius tinklus, tyrimai.* Tai antras tyrimų etapas (5 pav.), skirtas tolesnei netiesinių dinaminų sistemų analizei, t. y. apksimuoti ir prognozuoti finansinio kapitalo rinkų rodiklius, pasirenkant tam geriausiai tinkantį DIS metodą (4 pav.) – dirbtinius neuroninius tinklus (DNT). Šio tyrimų etapo pagrindinis tikslas – pasiūlyti kompleksinės analizės priemones, kurios apima ne tik techninius (istorinius) duomenis, bet ir fundamentinius (makroekonominus) rodiklius. Taigi šiuo tyrimų etapu nagrinėjamos nacionalinės vertybinių popierių biržos indeksų autoregresinio, autoregresinio priežastinio ir priežastinio trendo modelių sudarymo ir jų pritaikymo galimybės naudojant dirbtinių neuroninių tinklų (DNT) metodus [12]. Parodoma, kaip su jų pagalba galima tiksliau prognozuoti vertybinių popierių indeksų kitimą. DNT metodas panaudotas Lietuvos nacionalinės vertybinių popierių biržos (NVPB) indeksų LITIN, LITIN-A ir LITIN-VVP kitimo analizei ir prognozei. Tačiau norint pritaikyti neuroninius tinklus konkrečioms uždaviniams spręsti reikėjo sudaryti paties tyrimo struktūrinę schemą, kurioje nuosekliai atspindėtų įėjimo kintamųjų ir DNT metodų atranka bei parametru optimizavimas (žr. 7 pav.). Visi DNT metodų tyrimai padaryti su *MatLab v6 Neural Networks Toolbox* programiniame modulyje autorių sukurta programa [12].



7 pav. Bendra DNT tyrimo schema: įėjimo kintamųjų ir DNT metodų atranka bei tinklo parametrų optimizavimas (autorių apibendrinimas)

Šiame straipsnyje detali tyrimų eiga nenagrinėjama, o apsiribojama pagrindinių šio tyrimų etapo rezultatų ir išvadų pateikimu. Antru tyrimų etapu (5 pav.) išnagrinėjus finansinio kapitalo rinkose dažniausiai naudojamų analitinių metodų efektyvumą, nustatyti dirbtinių neuroninių tinklų (DNT) metodų pranašumai gaunami prognozuojant netiesinių dinaminių sistemų elgesį retai pasikartojančiais, kriziniais ar pereinamaisiais laikotarpiais. Panaudojus dirbtinių neuroninių tinklų metodus, sukurti vertybinių popierių kainų indeksų autoregresinio, autoregresinio-priežastinio ir priežastinio trendo modeliai, su kurių pagalba atlikta kompleksinė (techninė ir fundamentali)

VP kainos indeksų kitimo analizė ir prognozė. Praktiškai įsitikinta, kad tinkamai sukonfigūruoti ir optimizuoti DNT yra patogi ir efektyvi priemonė atpažinti, klasifikuoti ir prognozuoti netiesiškumus (nepriklausomai nuo jų prigimties) [12].

Ištirtos dirbtinio neuroninio tinklo aproksimavimo ir prognozavimo galimybės, esant skirtingiems mokymo algoritmams, duomenų pateikimo būdams, neuroninio tinklo konfigūracijoms, bei nustatyta optimali tinklo topologija, leidžianti gauti geresnius VP kainų indeksų aproksimavimo ir prognozavimo rezultatus negu tiesinės regresijos metodu. Sukurtas programinis modulis, kurį galima

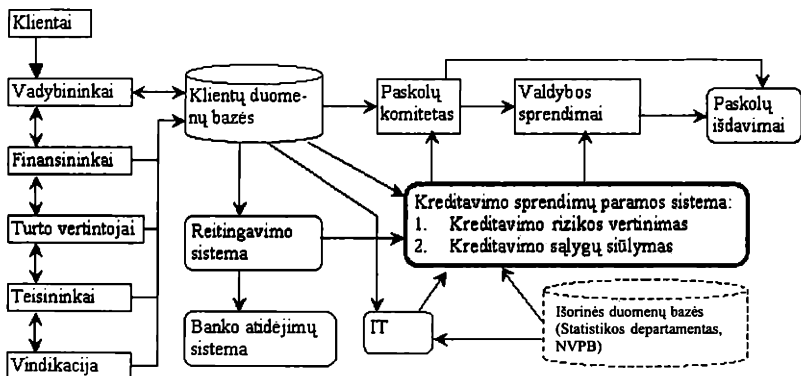
efektyviai panaudoti sprendžiant įvairiausių finansinių ir ekonominių reiškinžių netiesinės dinamikos prognozavimo uždavinius.

**Finansinio kreditavimo rizikos įvertinimo, naudojant dirbtinio intelekto sistemas, tyrimai.** Tai trečias tyrimų etapas (žr. 5 pav.), kuriuo, pasinaudoję pirmų dviejų tyrimo etapų rezultatais, autoriai nagrinėja dirbtinio intelekto sistemas modelį, skirtą efektyviau įvertinti kreditavimo riziką finansų institucijose. Remiantis atliktais tyrimais, Lietuvos komerciniams bankams siūlomas diegti banko klientų kreditavimo rizikos įvertinimo sprendimų paramos sistemos modelis (žr. 8 pav.), kuris (išvystytų finansinio kapitalo rinkų pavyzdžiu) gali gerokai padidinti kreditavimo rizikos įvertinimo efektyvumą, sumažinti rizikos kapitalo dydį ir blogų paskolų portfelių [7]. Be to, modelyje pateikiamas originalus taisyklių, pagrindžiančių DNT sprendimus, gavimo modulis.

Daba Lietuvos bankuose naudojamos įvairios klientų finansinės rizikos vertinimo metodikos, tačiau mūsų bankai tik neseniai pradėjo domėtis efektyvių netiesinių rizikos valdymo modelių diegimu. Tai verčia daryti konkuren-

cija, centrinio banko reikalavimai ir audito įmonių rekomendacijos. Dažniausiai taikomos unikalios vidinės reitingavimo sistemos (išorinių agentūrų reitinguotų įmonių Lietuvoje yra mažai), kurios remiasi Bazelio komiteto rekomendacijomis. Vidinės reitingavimo sistemos dažnai kopijuoja išorinių agentūrų modelius, pavyzdžiui, KVM „Credit Monitor“. Dabar naudojami paprasčiausi tiesiniai reitingavimo modeliai, besiremiantys Altmano tipo empiriniais kreditinio pajėgumo indeksais [1]. Iš padarytos analizės tapo aišku, kad mūsų bankuose naudojami kreditavimo rizikos įvertinimo metodai nėra efektyvūs, nes 1) tradiciniai metodai nedirba realaus laiko režimu, 2) nėra integruotų su vidinėmis ir išorinėmis duomenų bazėmis sprendimų, 3) nėra atsižvelgiama į sudėtingus netiesinius sąryšius, 4) neatliekamas modelių optimizavimas atsižvelgiant į pasikeitusias sąlygas [2; 3].

Šie ir kiti veiksniai sukelia finansų institucijų nekonkurencingą būseną, kai blogai valdomos investicijos smukdo jų reitingus, mažina pelningumo rodiklius, didina blogų paskolų portfelių ir t. t. Be jokios abejonės, tarptautinė



8 pav. Sprendimų paramos sistemos modelis bendroje banko kreditavimo rizikos valdymo sprendimų schemoje (autorių apibendrinimas)

konkurencija išstums tokius vidaus žaidėjus. Remiantis netiesinės dinamikos paradigma ir dirbtinio intelekto sistemomis, būtina taikyti naujus rizikos vertinimo metodus ir technologijas.

Apibendrinant pasakytina, kad trečiu tyrimų etapu (5 pav.) sukurtas Banko klientų kreditavimo rizikos valdymo sprendimų paramos sistemos modelis, kuris remiasi dirbtinių neuroninių tinklų ir neryškos logikos metodais. Modelyje siūlomas originalus taisyklių, pagrindžiančių dirbtinio neuroninio tinklo kreditavimo sprendimus, gavimo modulis. Įrodyta, kad šio modelio dėka galima greičiau, pigiau ir tiksliau spręsti kreditavimo rizikos vertinimo finansų institucijose uždavinius.

## Išvados

1. Straipsnyje apibrėžtos pagrindinės problemos, kurios sprendžiamos šiuolaikinėse finansinio kapitalo rinkose, t. y. portfelinių ir paskolinių investicijų rizikos-pelno efektyvus valdymas bei finansinių rodiklių kitimo netiesinės dinamikos prognozavimas. Įrodyta, kad tradicinė finansinio kapitalo rinkų kitimo analizė, besiremianti tiesine paradigma, nėra efektyvi kriziniais ir pereinamaisiais, t. y. nepusiausviriais laikotarpiais, kai vyrauja chaotiškoms sistemoms būdingi neperiodiniai svyravimai. Šių problemų optimaliam sprendimui surasti ir pritaikyti dirbtinio intelekto sistemų (DIS) metodai (chaotiškos sistemos, fraktalai, dirbtiniai neuroniniai tinklai, genetiniai algoritmai, neryški logika), kurie šiuolaikinių informacinių technologijų dėka išplečia tradicinės analizės galimybes.

2. Atlikti tyrimai parodė ypač dideles dirbtinio intelekto sistemų taikymo galimybes ir perspektyvas, lanksčiai sprendžiant kompleksinius finansų rinkų analizės ir prognozės uždavinius. Tai nepaprastai svarbu šiuolaikinėse investicinėse rinkose, efektyviai valdant portfelinių ir paskolinių investicijų rizikas ir

pelnus bei prognozuojant finansų rinkų elgesį kriziniais ar pereinamaisiais laikotarpiais. Iš-tirtos dirbtinio intelekto sistemų kai kurių metodų taikymo finansinio kapitalo rinkų suminių rodiklių kitimo analizėje galimybės. Susistemintus teorinę medžiagą, sudaryta bendra finansinio kapitalo rinkų dinamikos tyrimų (naudojant DIS metodus) schema, kuri susideda iš trijų nuosekliai pagrįstų tyrimo etapų.

3. Straipsnyje parodoma, kad pirmas tyrimų etapas būtina reikalingas suminių rodiklių laikinių sekų kitimo dinamikos kokybinei (chaotiškų sistemų detektavimo testai) ir kiekybinei (nustačius chaotiškus invariantus) analizei. Nustatyta, kad chaotiškus invariantų suradimas leidžia įvertinti tyrimo objekto kitimo fraktalinę prigimtį, determinuotų procesų egzistavimą ir kintamumo lygį. Tai leidžia nustatyti likusių DIS metodų taikymo pagrįstumą tolesnei suminių rodiklių dinamikos analizei. Antras tyrimų etapas reikalingas modeliuoti finansinio kapitalo rinkų suminių rodiklių netiesinį elgesį. Nustatyta, kad šiuo etapu geriausiai tinka DNT, su kurių pagalba kuriami lankstūs ir efektyvūs rodiklių kitimo analizės ir prognozės modeliai. Trečiu tyrimų etapu kuriamos integruotos DIS, gebančios sujungti skirtingus DIS metodus, siekiant optimizuoti kompleksinių uždavinių sprendimą. Straipsnyje pateikiamas vienas toks modelis, kurio dėka galima greičiau, pigiau ir tiksliau spręsti kreditavimo rizikos vertinimo finansų institucijose uždavinius.

4. Nagrinėjami modeliai nėra susiję su konkrečiais duomenimis, todėl juos galima naudoti įvairiausių finansinių ar ekonominių rodiklių kitimo analizei ir prognozei. Atskiriems tyrimo etapams autoriai sukūrė atitinkamą programinę įrangą, kuri be papildomų derinimų gali būti panaudota sprendžiant įvairiausių finansinių ir ekonominių duomenų netiesinės dinamikos analizės ir prognozavimo uždavinius.

## LITERATŪRA

1. Bessis J. Risk Management in Banking (s.e.). London: Probus. 2002.
2. Trippi R. R., Lee J. K. Artificial intelligence in finance & investing: state-of-the-art technologies for securities selection and portfolio management. Chicago: Irwin, 1996.
3. Trippi R. Chaos & Nonlinear Dynamics in the Financial Markets. Chicago: Irwin, 1995.
4. Kauffman S. A. The origins of Order. Self-Organisation and Selection in Evolution, Oxford University Press, 1993.
5. Peters E. Chaos and order in the capital markets. New York: John Wiley & Sons, 2000.
6. Chorafas D. N. Chaos theory in the financial markets. Chicago: Irwin, 1998.
7. Freedman R. S., Klein A., Lederman J. Artificial Intelligence in the Capital Markets. Probus publishing. Chicago, 1995.
8. Bank for International Settlements. Pasaulinio žiniatinklio nuoroda: <http://www.bis.org/index.htm>.
9. Aleksiejūnas R. Signalogram software package V1.0. Downloadable from WWW site: <http://signalogram.tinklapis.lt>. Vilnius, 2001.
10. Plikynas D., Aleksiejūnas R., Simanauskas L. Search for Periodic and Nonperiodic Fluctuations in Financial Capital Markets Using Joint Time-Frequency and Deterministic Chaos Methods // Information Technology and Control. 2002, Nr. 4(25), p. 12.
11. Abarbanel D. I. Analyses of Observed Chaotic Data. New York: Springer-Verlag, 1996.
12. Plikynas D., Simanauskas L., Būda S. Research of Neural Network Methods for Compound Stock Exchange Indices Analysis // Informatica. 2002, vol. 13(4), p. 465–483.

## ANALYSIS OF THE FINANCIAL MARKETS DYNAMICS USING MODERN ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

Leonas Simanauskas, Darius Plikynas

### S u m m a r y

A review of financial capital markets, presented in the article, helped to reveal the extended use of modern information technologies and artificial intelligence methods in today's financial markets. Artificial intelligence systems (AIS) embrace artificial neural networks, chaos theory, fractal theory, fuzzy logic, and genetic algorithm's methods. Those theories and methods are well suited for the modeling of nonlinear dynamics and are capable to overtake other techniques in short term forecasting, trend prognosis, recognition of structural shifts, nonlinear correlations, and chaotic behavior. AIS are capable to cope with the modern financial markets problems, which more resemble adaptive, chaotic and evolutionary then static or equilibrium nature.

The authors have stressed on the description of drawbacks of the traditional capital investment theories, formulation of theoretical and practical premises for the nonlinear approaches using modern informa-

tion technologies like distributed databases, worldwide communication channels, parallel processing, and OLAP systems. Extended review of a related literature, helped to create the overall research scheme, based on AIS methods, which has mutually bounded and consistent research stages. The overall research scheme embraces: 1) research and description, using chaos and fractal methods, of the nonlinearities and their dynamics in financial time series; 2) creation of nonlinear complex models for SE indices approximation and prognosis using artificial neural network's methods; 3) application of the different AIS methods like a consistent analytical tool for the bank clients crediting risk decision support model creation. The scheme made possible systematic review of various analytical possibilities for the different AIS methods. It also helped to create compound models for the analysis and prognosis of the dynamics in the financial markets.

*Įteikta 2002 m. rugsėjo mėn.*