



VILNIAUS UNIVERSITETAS
KAUNO FAKULTETAS

SOCIALINIŲ MOKSLŲ IR TAIKOMOSIOS INFORMATIKOS INSTITUTAS

Finansų technologijų studijų programa

Kodas 6211BX022

DOMANTAS ŠURKA

MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

**INVESTICINIO PORTFELIO OPTIMIZAVIMO IR INDIVIDUALIOS
RIZIKOS VALDYMO METODAS**

Kaunas, 2025



**VILNIAUS UNIVERSITETO
KAUNO FAKULTETAS**

SOCIALINIŲ MOKSLŲ IR TAIKOMOSIOS INFORMATIKOS INSTITUTAS

DOMANTAS ŠURKA

MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

**INVESTICINIO PORTFELIO OPTIMIZAVIMO IR INDIVIDUALIOS
RIZIKOS VALDYMO METODAS**

Magistrantas _____
(parašas)

Darbo vadovas _____
(parašas)

Doc. Dr. Mantas Valukonis

Darbo įteikimo data

2025-12-22

Registracijos Nr.

Kaunas, 2025

TURINYS

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS	5
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	6
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	7
SUMMARY	8
ĮVADAS.....	9
1. INVESTICINIO PORTFELIO OPTIMIZAVIMO IR INDIVIDUALIOS RIZIKOS VALDYMO TEORINIAI PAGRINDAI.....	11
1.1. Investicinio portfelio optimizavimo metodai	11
1.2. Investuotojo rizikos valdymas.....	13
1.2.1. Strateginiai rizikos valdymo metodai.....	13
1.2.2. Rizikos tolerancijos vertinimas	15
1.3. Portfelio diversifikavimo strategijos	17
1.3.1. Diversifikavimo tipai.....	18
1.3.2. Efektyvios diversifikacijos sąlygos ir ribotumai	19
1.4. Investavimo psichologija ir emociniai sprendimai.....	19
1.4.1. Dažniausi kognityviniai šališkumai investavime	20
1.4.2. Emocijų įtaka sprendimams rinkoje ir jų mažinimas	21
1.5. Apsidraudimo (hedžingo) vaidmuo investicinės rizikos valdyme	23
1.6. Investicinio portfelio optimizavimo esami sprendimai	24
1.6.1. „Bloomberg Portfolio & Risk Analytics“	24
1.6.2. „Morningstar Direct“	25
1.6.3. „MSCI Open Optimizer“	26
1.6.4. Sistemų lyginamoji analizė	27
2. INVESTICINIO PORTFELIO OPTIMIZAVIMO IR INDIVIDUALIOS RIZIKOS VALDYMO METODAS.....	29
2.1. Investicinio portfelio optimizavimo modelio projektavimas	29
2.1.1. Optimizavimo tikslas ir sprendžiamoji problema	30
2.1.2. Matematinis CVaR modelio pagrindas ir diversifikacijos užtikrinimas	31
2.1.3. Rizikos tolerancijos integravimas	32
2.1.4. Hedžingo integravimas į portfelio rizikos valdymą	34
2.1.5. Duomenų šaltiniai ir scenarijų generavimas	36

2.1.6.	Programinė struktūra ir algoritminė eiga	38
2.2.	Modelio testavimo metodika ir vertinimo kriterijai	39
2.2.1.	Etapas 1: optimizuoto portfelio įvertinimas ir palyginimas su bazine strategija	40
2.2.2.	Etapas 2: optimizuoto portfelio pritaikymas rizikos tolerancijos klasėms.....	41
3.	INVESTICINIO PORTFELIO OPTIMIZAVIMO IR INDIVIDUALIOS RIZIKOS VALDYMO METODO TAIKYMAS.....	43
3.1.	Metodo veikimo logika ir prototipas	43
3.1.1.	Sistemos funkcijos.....	43
3.1.2.	Architektūra ir komponentai	47
3.1.3.	Realizacijai keliami reikalavimai	48
3.1.4.	Sistemos prototipas	48
3.2.	Naudoti empiriniai duomenys ir jų paruošimas	54
3.3.	Modelio taikymo rezultatai ir vertinimas	56
3.3.1.	Optimizuoto portfelio įvertinimas ir palyginimas su baziniu portfeliu.....	56
3.3.2.	Optimizuoto portfelio pritaikymas rizikos tolerancijos klasėms, analizuojant apsidraudimo poveikį.....	61
3.3.3.	Empirinio vertinimo apibendrinimas	64
3.4.	Modelio ribotumai ir tobulinimo galimybės	65
	IŠVADOS IR PASIŪLYMAI.....	67
	LITERATŪRA.....	69
	PRIEDAI	72
	1 PRIEDAS.....	72
	2 PRIEDAS.....	74
	3 PRIEDAS.....	75
	4 PRIEDAS.....	76
	5 PRIEDAS.....	77

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

CVaR – Conditional Value-at-Risk (liet. *sąlyginė rizikos vertė*)

MAD – Mean Absolute Deviation (liet. *vidutinis absoliutus nukrypimas*)

VaR – Value-at-Risk (liet. *rizikos vertė*)

ETF – Exchange-Traded Fund (liet. *biržoje prekiaujamas fondas*)

S&P 500 – Standard & Poor's 500 Index (liet. *S&P 500 indeksas*)

Δ – Delta jautrumo koeficientas

REST – Representational State Transfer (liet. *reprezentacinis būsenos perdavimo architektūrinis stilius*)

API – Application Programming Interface (liet. *taikomųjų programų sąsaja*)

HTTPS – HyperText Transfer Protocol Secure (liet. *saugus hiperteksto perdavimo protokolas*)

CSRF – Cross-Site Request Forgery (liet. *užklausų klastojimas tarp svetainių*)

JWT – JSON Web Token (liet. *JSON žiniatinklio žetonas*)

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Sistemos panaudojimo atvejų diagrama	44
2 pav. Panaudojimo atvejo „Sudaryti optimizuotą portfelį“ scenarijus	46
3 pav. Sistemos komponentų diagrama.....	47
4 pav. Sistemos registracijos langas.....	49
5 pav. Sistemos rizikos tolerancijos testo pradžios ekranas.....	50
6 pav. Sistemos rizikos tolerancijos testo klausimynas.....	50
7 pav. Sistemos rizikos tolerancijos testo vertinimas.....	51
8 pav. Sistemos portfelio optimizavimo vedlio pagrindinis langas	51
9 pav. Sistemos optimizuoto portfelio rezultatų langas	52
10 pav. Sistemos optimizuoto portfelio peržiūros langas	53
11 pav. Optimizuoto, bazinio portfelio su rinkos indeksu palyginimai augimo fazėje.....	76
12 pav. Optimizuoto, bazinio portfelio su rinkos indeksu palyginimai konsolidacijos fazėje.....	76
13 pav. Optimizuoto, bazinio portfelio su rinkos indeksu palyginimai kritimo fazėje	76
14 pav. Optimizuoto portfelio apsidraudimas augimo fazėje (vidutinės rizikos klasės investuotojui)...	77
15 pav. Optimizuoto portfelio apsidraudimas konsolidacinėje fazėje (mažos rizikos klasės investuotojui).....	77
16 pav. Optimizuoto portfelio apsidraudimas kritimo fazėje (mažos rizikos klasės investuotojui)	78

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Investicinių portfelių optimizavimo modelių palyginimas.....	12
2 lentelė. Lyginamoji sistemų analizė	27
3 lentelė. Rizikos tolerancijos klasifikavimas	33
4 lentelė. CVaR ribos pagal rizikos tolerancijos lygį.....	34
5 lentelė. Finansinių aktyvų rinkinys	55
6 lentelė. Optimizuoto portfelio aktyvų svoriai (rinkos augimo fazė)	57
7 lentelė. Optimizuoto portfelio aktyvų svoriai (rinkos konsolidacijos fazė)	58
8 lentelė. Optimizuoto portfelio aktyvų svoriai (rinkos kritimo fazė)	58
9 lentelė. Optimizuoto ir bazinio portfelių palyginimas rinkos augimo fazėje	59
10 lentelė. Optimizuoto ir bazinio portfelių palyginimas rinkos konsolidacijos fazėje.....	60
11 lentelė. Optimizuoto ir bazinio portfelių palyginimas rinkos kritimo fazėje	60
12 lentelė. Apsidraudimo poreikis pagal rizikos klases – rinkos augimo fazė	62
13 lentelė. Apsidraudimo poreikis pagal rizikos klases – konsolidacijos fazė	63
14 lentelė. Apsidraudimo poreikis pagal rizikos klases – kritimo fazė.....	63

Šurka, Domantas (2025). *Method of Investment Portfolio Optimization and Individual Risk Management*. MBA Graduation Paper. Kaunas: Vilnius University, Kaunas Faculty, Institute of Social Sciences and Applied Informatics. 78 p.

SUMMARY

The aim of this MBA thesis is to develop and assess an optimization model for investment portfolios that integrate psychological risk tolerance evaluation, behavioral bias mitigation, and CVaR-based decision-making automation. The paper addresses the gap between classical optimization models, which often ignore behavioral aspects and extreme risk exposure, and the real needs of individual investors operating under uncertainty and emotional pressure.

The research applies a methodological framework grounded in behavioral finance theory, conditional value-at-risk (CVaR) modeling, and Monte Carlo simulation. The model incorporates risk tolerance assessment based on the Grable and Lytton (1999) test and includes a dynamic hedging mechanism using S&P 500 CFDs to ensure portfolio compliance with defined CVaR limits. Optimization is performed using linear programming techniques based on Rockafellar and Uryasev's (2000) CVaR minimization approach.

The practical part presents a simulation experiment where real historical data from "Yahoo Finance" is used to demonstrate the model's functionality. The results show that the proposed model effectively aligns portfolio structure with psychological risk constraints, while selective hedging further stabilizes CVaR in adverse market scenarios. The developed system is implemented as a web-based application using "NestJS", "Next.js" and "MySQL".

The paper consists of 78 pages, including 14 tables and 16 figures.

IVADAS

Pastaraisiais dešimtmečiais finansų rinkos pasižymi vis didesniu sudėtingumu, informacijos gausa ir nuolatinio kintamumu, todėl investuotojai susiduria ne tik su racionalių sprendimų priėmimo iššūkiais, bet ir su emocinių veiksnių įtaka. Klasikiniai investicijų valdymo modeliai dažnai nebeatitinka šiuolaikinių poreikių, nes ignoruoja individualius investuotojų skirtumus bei psichologinius aspektus. Tuo pat metu auga personalizuotų sprendimų ir automatizuotų priemonių paklausa, leidžianti efektyviau valdyti portfelius atsižvelgiant į asmeninius rizikos profilius bei investavimo tikslus. Todėl iškyla poreikis kurti integruotus investicinio portfelio sprendimus, kurie, išlaikydami finansinių modelių tikslumą, kartu įtrauktų elgsenos finansų įžvalgas ir užtikrintų sprendimų automatizavimą, pritaikytą individualiam investuotojo rizikos profiliui bei tikslams.

Temos aktualumas. Investicinių portfelių valdymas šiuolaikinėje finansų rinkoje tampa vis labiau priklausomas nuo technologijų, galinčių įvertinti riziką, prisitaikyti prie investuotojo profilio ir mažinti emocinį šališkumą priimant sprendimus. Nepaisant to, dauguma esamų sprendimų apsiriboja standartiniais optimizavimo modeliais, kurie neatsižvelgia į individualius investuotojų poreikius ir elgsenos ypatumus. Ši problema tampa ypač aktuali didėjant finansinio neapibrėžtumo lygiui bei populiarėjant savarankiškam investavimui, kai sprendimai dažnai priimami skubotai ir veikiami emocijų. Personalizuotų, rizikos toleranciją atitinkančių sprendimų trūkumas riboja investuotojų galimybes racionaliai valdyti savo portfelius bei pasiekti optimalių rezultatų ilguoju laikotarpiu. Atsižvelgiant į tai, būtina kurti sistemas, kurios ne tik optimizuotų portfelius pagal klasikinius finansų principus, bet ir įtrauktų pažangius rizikos vertinimo bei sprendimų automatizavimo metodus.

Problemos ištirimo lygis. Investicinio portfelio optimizavimas plačiai nagrinėtas finansų teorijoje – nuo klasikinio vidurkio ir dispersijos modelio (Markowitz, 1952) iki alternatyvių požiūrių, tokių kaip MAD (Konno ir Yamazaki, 1991), MiniMax (Young, 1998) bei CVaR (Rockafellar ir Uryasev, 2000). Šie modeliai skiriasi tiek matematiniais principais, tiek praktinio taikymo galimybėmis. Nepaisant pažangos, dauguma jų ignoruoja investuotojo psichologinius bruožus bei elgsenos niuansus.

Elgsenos finansų tyrėjai (Kahneman ir Tversky, 1979; Thaler, 2005; Montier, 2007) išryškino dažniausiai pasitaikančius kognityvinius šališkumus – nuostolių vengimą, bandos efektą, per didelį pasitikėjimą. Šie veiksniai turi tiesioginę įtaką investavimo sprendimams, tačiau iki šiol nepakankamai integruoti į investavimo modelius. Rizikos tolerancijos vertinimo srityje reikšmingi darbai atlikti Grable ir Lytton (1999), Gilliam et al. (2010), tačiau jų tyrimai dažniausiai apsiriboja profiliavimu, nesiejant jo su faktiniu portfelio formavimu.

Diversifikacijos ribas pabrėžė Damodaran (2012), Bodie, Kane ir Marcus (2014), o rizikos mažinimo strategijų integraciją, įskaitant CVaR ir hedžingą, nagrinėjo Hull (2018), Cong et al. (2014), Bertsimas et al. (2004). Visgi literatūroje trūksta integruoto požiūrio, kuriame būtų sujungiami investuotojo elgsenos ypatumai, rizikos tolerancijos lygiai ir pažangūs optimizavimo metodai į vieningą sprendimų sistemą. Ši spraga lemia šio tyrimo aktualumą tiek teoriniu, tiek praktiniu lygmeniu.

Darbo problema – kaip suprojektuoti investicinio portfelio optimizavimo modelį, kuris, integruodamas individualios rizikos tolerancijos vertinimą ir sprendimų automatizavimą, leistų padidinti portfelio efektyvumą ir pritaikyti rizikos valdymo sprendimus?

Darbo objektas – investicinio portfelio optimizavimo sprendimų priėmimo sistema, integruojanti rizikos valdymo ir personalizavimo principus.

Darbo tikslas – suprojektuoti personalizuotą investicinio portfelio optimizavimo modelį, pagrįstą individualios rizikos tolerancijos įvertinimu ir sprendimų automatizavimu.

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti investicinio portfelio optimizavimo, rizikos valdymo ir elgsenos finansų teorinius pagrindus.
2. Įvertinti esamų investavimo sprendimų modelius portfelio valdymo kontekste.
3. Sukurti integruoto investicinio portfelio optimizavimo ir rizikos valdymo modelio koncepciją, pagrįstą individualios rizikos tolerancijos vertinimu ir sprendimų automatizavimo principais.
4. Sukurti modelio prototipą ir aprašyti jo techninę struktūrą bei veikimo logiką.
5. Atlikti empirinį tyrimą ir įvertinti sukurto modelio efektyvumą, lyginant jį su bazinio portfelio strategija, įtraukiant individualios rizikos tolerancijos vertinimą.

Darbo struktūra. Darbas susideda iš trijų pagrindinių dalių. Pirmojoje dalyje pateikiami investicinio portfelio optimizavimo, rizikos valdymo ir elgsenos finansų teoriniai pagrindai. Aptariami optimizavimo modelių principai, rizikos tolerancijos reikšmė, diversifikavimo strategijos, emocijų įtaka investavimo sprendimams bei apsidraudimo priemonių taikymas. Antrojoje dalyje suprojektuojamas portfelio optimizavimo modelis, pagrįstas individualios rizikos vertinimu, personalizavimu ir automatizuotu sprendimų priėmimu, bei pateikiamas jo tolimesnių rezultatų vertinimas. Trečiojoje dalyje aprašomas modelio taikymas realiomis rinkos sąlygomis, naudojami empiriniai duomenys ir jų apdorojimas, pateikiami gauti rezultatai ir atliekamas jų vertinimas, taip pat aptariami modelio ribotumai ir siūlomos tolesnio tobulinimo kryptys. Pabaigoje pateikiamos darbo išvados.

1. INVESTICINIO PORTFELIO OPTIMIZAVIMO IR INDIVIDUALIOS RIZIKOS VALDYMO TEORINIAI PAGRINDAI

Investicijų valdymas šiuolaikinėse finansų rinkose reikalauja vis pažangesnių ir lankstesnių metodų, leidžiančių efektyviai paskirstyti kapitalą ir kontroliuoti riziką. Šiame skyriuje nagrinėjami esminiai teoriniai investicinio portfelio optimizavimo metodai, apžvelgiamos skirtingos rizikos valdymo koncepcijos bei įvertinamas jų praktinis pritaikomumas.

1.1. Investicinio portfelio optimizavimo metodai

Investicinio portfelio optimizavimas – tai procesas, kurio metu siekiama rasti tokį finansinių priemonių paskirstymą portfelyje, kuris maksimizuotų investicijų grąžą ir kartu sumažintų riziką. Metodų įvairovė leidžia investuotojams pasirinkti tinkamiausią strategiją pagal jų rizikos toleranciją, investavimo laikotarpį ir duomenų prieinamumą. Šiame poskyryje analizuojami pagrindiniai optimizavimo metodai: Markowitz vidurkio ir dispersijos modelis, MAD, MiniMax bei CVaR.

Markowitz vidurkio ir dispersijos (angl. *Mean–variance*) modelis, pasiūlytas 1952 metais, yra vienas klasikinių portfelio optimizavimo modelių, kuriame rizika vertinama per investicijų grąžos dispersiją. Bartkus ir Bartkutė (2013) nurodo, kad modelis optimizuoja portfelį pagal tikėtinos grąžos ir rizikos sąveiką, formuojant efektyvumo sieną (angl. *Efficient frontier*), darant prielaidą apie normalų grąžų pasiskirstymą. Kadangi portfelio rizika apibrėžiama per kovariacijų matricą, optimizavimas grindžiamas viso portfelio dispersijos minimizavimu, o ne pavienių aktyvų rizikos vertinimu, sudarant prielaidas rizikai mažinti per diversifikaciją. Tačiau praktiniame taikyme modelis susiduria su apribojimais, susijusiais su sudėtingu kovariacijų skaičiavimu ir kvadratinio programavimo taikymu, todėl vėlesniuose tyrimuose buvo kuriami paprastesni alternatyvūs metodai.

MAD modelis atsirado kaip alternatyva Markowitz metodui. Vietoje dispersijos, šiame modelyje rizika vertinama kaip vidutinis absoliutus grąžos nukrypimas nuo vidurkio (Konno ir Yamazaki, 1991). Šie autoriai taip pat nurodo, kad modelis nereikalauja kovariacijos matricos ir yra sprendžiamas linijinio programavimo būdu. Bartkus ir Bartkutė (2013) pažymi, kad dėl šių savybių MAD modelis tinka efektyvesniam ir greitesniam didesnių optimizavimo problemų sprendimui. Tačiau MAD modelis vienodai vertina teigiamus ir neigiamus nukrypimus nuo vidurkio, todėl neatsižvelgia į tai, kad teigiami nukrypimai investuotojui paprastai yra palankūs.

MiniMax modelis grindžiamas idėja, kad investuotojas turėtų būti pasiruošęs blogiausiam galimam scenarijui. Modelis ieško tokio portfelio, kuris minimalizuotų didžiausią galimą nuostolį, remiantis istoriniais duomenimis, ir užtikrintų, kad vidutinė grąža viršytų tam tikrą ribą (Young, 1998).

Toks metodas yra ypač tinkamas itin rizikos vengiančiam investuotojui, nes atitinka kraštutinės rizikos vengimo modelį (Young, 1998). Tačiau dėl savo konstrukcijos MiniMax modelis gali būti pernelyg konservatyvus: jis jautrus pavieniams neigiamiems rezultatams, todėl gali ignoruoti aktyvus, kurie pasižymi aukšta vidutine grąža, bet turėjo vieną reikšmingą neigiamą laikotarpį (Young, 1998).

CVaR modelis yra pažangus rizikos vertinimo įrankis, orientuotas į nuostolių analizę esant kraštutinėms situacijoms. Skirtingai nei klasikinis VaR, CVaR ne tik nustato ribą, kurios neperžengia tam tikras procentas nuostolių, bet ir apskaičiuoja vidutinį nuostolį, jei ši riba visgi viršijama. Dėl šios priežasties CVaR vadinamas uodeginiu VaR (angl. *Tail VaR*) – rizikos forma, leidžianti tiksliau įvertinti „uodeginę“ riziką (Rockafellar ir Uryasev, 2000). Bartkus ir Bartkutė (2013) teigia, kad CVaR leidžia realistiškiau įvertinti galimus finansinius nuostolius nei tradiciniai metodai, nes labiau atspindi tikėtiną praradimų dydį po kritinės ribos viršijimo. Vis dėlto praktiniuose taikymuose pastebėta, kad CVaR minimizavimas dažnai lemia portfelius su daugeliu nulinių arba itin mažų aktyvų svorių, nes modelis siekia eliminuoti bet kokius kraštutinės rizikos šaltinius. Šią problemą analizavo Xu et al. (2016), pasiūlę įtraukti mažiausių svorių apribojimus (angl. *weight constraints*), kurie išlaiko diversifikaciją ir sumažina portfelio koncentraciją, nepažeidžiant CVaR minimizavimo logikos.

Šių modelių palyginimas pateikiamas 1 lentelėje. Lentelėje pateikiamos pagrindinės metodų savybės leidžia investuotojui greitai įvertinti jų taikymo kontekstą, pritaikomumą, stiprybes ir apribojimus. Modelių pasirinkimas turėtų būti pagrįstas investuotojo rizikos tolerancija, siekiama grąža, turimų duomenų pobūdžiu bei techninėmis galimybėmis.

1 lentelė

Investicinių portfelių optimizavimo modelių palyginimas

Kriterijus	Markowitz	MAD	MiniMax	CVaR
Nereikalauja grąžų normalumo prielaidos	–	+	+	+
Nebūtina kovariacijų matrica	–	+	+	+
Orientuotas į kraštutinių nuostolių (blogiausio scenarijaus) rizikos vertinimą	–	–	+	+
Nėra pernelyg konservatyvus (nejautrus „vieno blogiausio scenarijaus“ dominavimui)	+	+	–	+
Išlaiko aktyvų diversifikaciją	+	+	–	–

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Bartkus ir Bartkutė (2013), Konno ir Yamazaki (1991), Young (1998), Rockafellar ir Uryasev (2000).

Apibendrinant galima teigti, kad investicinio portfelio optimizavimo metodai skiriasi ne tik matematiniais principais, bet ir taikymo sudėtingumu, jautrumu duomenų kokybei bei sprendimų interpretavimo galimybėmis. Klasikiniai modeliai, tokie kaip Markowitz ar MAD, yra tinkami esant ribotam duomenų kiekiui ir siekiant paprasto bei lengvai suprantamo sprendimo. Tuo tarpu CVaR metodas pasižymi didesniu lankstumu ir geba pritaikyti sudėtingesnius rizikos vertinimo kriterijus, įskaitant uodegines rizikas.

Nors portfelio optimizavimo modeliai leidžia investuotojui formuoti struktūriškai subalansuotą investicijų paskirstymą, vien jų nepakanka siekiant užtikrinti ilgalaikį portfelio stabilumą dinamiškoje rinkos aplinkoje. Optimalaus sprendimo veiksmingumas iš esmės priklauso nuo gebėjimo valdyti riziką, kuri neišvengiamai lydi kiekvieną investicinį pasirinkimą. Todėl toliau aptariami rizikos valdymo metodai, kurie papildė optimizavimo logiką ir leidžia ne tik numatyti galimus nuostolius, bet ir priimti strategiškai pagrįstus sprendimus neapibrėžtumo sąlygomis.

1.2. Investuotojo rizikos valdymas

Šiuolaikinėse investavimo praktikose rizikos valdymas neapsiriboja vien matematiniais optimizavimo modeliais. Rizika suprantama kaip reiškiny, apimantis įvairias galimų nuostolių rūšis, kurių kiekvienai taikomos specifinės valdymo strategijos. Šiame poskyryje analizuojami praktiniai rizikos valdymo metodai, orientuoti į rizikos identifikavimą, vertinimą ir mažinimą investiciniame portfelyje.

1.2.1. Strateginiai rizikos valdymo metodai

Be teorinių modelių, investuotojai praktikoje taiko įvairias strategines priemones, leidžiančias efektyviai valdyti riziką realiomis rinkos sąlygomis. Šie metodai dažniausiai apima portfelio struktūros koregavimą, apsaugos mechanizmų diegimą, reguliarias investicijų peržiūras ar scenarijų analizę. Jų pasirinkimas priklauso nuo individualios investavimo strategijos, investuotojo rizikos tolerancijos bei gebėjimo reaguoti į išorinius ekonominius, politinius ar rinkos veiksnus.

Diversifikacija – viena iš esminių strateginių rizikos mažinimo priemonių. Ji grindžiama nuostata, kad investuojant į skirtingus, tarpusavyje mažai susijusius aktyvus, galima sumažinti bendrą portfelio riziką. Investicijų paskirstymas tarp skirtingų turto rūšių, sektorių ar regionų leidžia kompensuoti vieno aktyvų nuostolius kitų pelnu. Bartkus ir Bartkutė (2013) nustatė, kad portfelių, sudarytų iš kelių skirtingų akcijų, standartinis nuokrypis buvo mažesnis nei atskirų sudėtinių aktyvų, o tai patvirtina diversifikacijos naudą portfelio stabilumui.

Portfelio perbalansavimas – dar viena svarbi strateginė priemonė, kuri grindžiama reguliariu investicijų struktūros atnaujinimu. Perbalansuojant portfelį siekiama grąžinti aktyvų proporcijas į iš anksto apibrėžtus strateginius lygius. Šis procesas padeda išlaikyti investuotojo siekiamą rizikos ir grąžos santykį, ypač tais atvejais, kai vieno turto vertė smarkiai išauga ir ima dominuoti portfelyje. Kaip pažymima Maginn et al. (2007) darbe, disciplinuotas perbalansavimas padeda investuotojams išvengti emocijų nulemtų sprendimų ir palaiko ilgalaikę strateginę kryptį.

Stop-loss pavedimai – tai iš anksto nustatyti automatiniai pavedimai parduoti finansinį turtą, kai jo vertė pasiekia tam tikrą nuostolio ribą. Ši priemonė dažnai naudojama aktyviai valdomuose portfeliuose siekiant riboti nuostolius ekstremalių rinkos svyravimų metu. Hull (2018) pažymi, kad stop-loss mechanizmas leidžia investuotojui išvengti nevaldomos žalos, nes apriboja pozicijos nuostolį be būtinybės ją nuolat stebėti – taip išvengiant emocinių veiksnių įtakos.

Hedžingas – tai apsidraudimo strategija, skirta specifinių rizikos šaltinių (dažniausiai susijusių su valiutų, palūkanų normų ar žaliavų kainų pokyčiais) sumažinimui. Šiam tikslui naudojami išvestiniai finansiniai instrumentai – pasirinkimo sandoriai (angl. *options*), ateities sandoriai (angl. *futures*), apsisikeitimo sandoriai (angl. *swaps*) ar skirtumo sandoriai (angl. *CFD*). Bodie et al. (2014) teigia, kad efektyviai taikomas hedžingas leidžia neutralizuoti tam tikras rizikas nekeičiant bazinės portfelio struktūros. Pavyzdžiui, investuotojas, turintis užsienio valiuta denominuotų obligacijų, gali naudoti valiutų apsisikeitimo sandorį siekdamas apsidrausti nuo nepalankių valiutų kursų pokyčių. Lygiai taip pat investuotojas, laikantis didelės trukmės fiksuotų pajamų instrumentus, gali naudoti palūkanų apsisikeitimo sandorius (angl. *interest rate swaps*), kad apsisaugotų nuo bazinių palūkanų normų augimo. Hedžingo taikymas leidžia valdyti riziką tiksliai, neatsisakant ilgalaikių investavimo tikslų, ir yra ypač naudingas tais atvejais, kai rinkos sąlygos yra nepastovios, o portfelio struktūriniai pokyčiai būtų neefektyvūs ar brangūs.

Scenarijų analizė ir streso testavimas – tai tiek kiekybiniai, tiek kokybiniai metodai, kuriais siekiama įvertinti portfelio atsparumą nepalankioms rinkos sąlygoms. Scenarijų analizė paprastai remiasi hipotetinėmis ekonominėmis ar finansinėmis situacijomis, kurios gali turėti neigiamą poveikį turto vertei, o streso testavimas taikomas siekiant modeliuoti ekstremalius rinkos sukrėtimus, tokius kaip finansinės krizės, palūkanų normų šuoliai ar geopolitiniai įvykiai. Šios priemonės suteikia galimybę suprasti rizikas, kurios neatsiskleidžia įprastomis rinkos sąlygomis, ir padeda investuotojams įvertinti galimus nuostolius. Pasak Hull (2018), streso testavimas ypač aktualus po ilgų stabilumo laikotarpių, nes jis padeda išvengti per didelio pasitikėjimo rinkos stabilumu ir leidžia numatyti nepalankių pokyčių

pasekmes. Scenarijų analizė taip pat gali būti taikoma tiek pagal hipotetinius, tiek istorinius įvykius, pavyzdžiui, finansų krizes ar kitus rinkos sukrėtimus, siekiant įvertinti, kaip portfelis reaguotų į tokius scenarijus.

Šių strateginių metodų taikymas leidžia investuotojui ne tik mažinti portfelio nepastovumą, bet ir efektyviau prisitaikyti prie kintančių rinkos sąlygų. Jie dažnai taikomi kartu su optimizavimo modeliais, taip sukuriant rizikos valdymo pagrindą.

1.2.2. Rizikos tolerancijos vertinimas

Investuotojo rizikos tolerancija yra vienas pagrindinių veiksnių, lemiančių investicinės strategijos pasirinkimą ir rizikos valdymo priemonių taikymą. Rizikos tolerancija suprantama kaip investuotojo gebėjimas ir noras susitaikyti su investicijų vertės svyravimais bei galimais nuostoliais, siekiant ilgalaikių finansinių tikslų. Pagal Grable ir Lytton (1999), ji priklauso tiek nuo objektyvių – finansinių, tiek nuo subjektyvių – psichologinių veiksnių.

Tinkamas rizikos tolerancijos įvertinimas leidžia investuotojui parinkti tokį turto paskirstymą, kuris atitinka jo asmeninius lūkesčius, elgseną ir finansines galimybes. Tai padeda išvengti emocijomis paremtų sprendimų bei sumažina tikimybę atsitraukti nuo pasirinktos strategijos nepalankiomis rinkos sąlygomis.

Objektyvūs rizikos tolerancijos veiksniai:

1. Amžius – jaunesni investuotojai dažniau linkę toleruoti didesnę riziką, nes turi ilgesnį investavimo horizontą siekiant uždirbti galimai patirtus nuostolius.
2. Pajamų stabilumas ir šaltinių įvairovė – stabilias ir įvairias pajamas turintis asmuo gali lengviau priimti laikinus portfelio vertės svyravimus.
3. Likvidumo poreikis – investuotojai, turintys trumpo laikotarpio piniginių išsipareigojimų, linkę rinktis mažiau rizikingus aktyvus.
4. Turimo turto dydis ir išsipareigojimų struktūra – turtą valdantys investuotojai dažniau siekia ilgalaikio kapitalo prieaugio, tuo tarpu skolingi – stabilios grąžos ir rizikos išvengimo.

Subjektyvūs veiksniai:

1. Psichologinis nusiteikimas rizikai – asmens požiūris į nuostolius ir jo gebėjimas racionaliai reaguoti į nepalankius rinkos pokyčius.
2. Investavimo patirtis – daugiau patirties turintys investuotojai linkę racionaliau vertinti rizikos ir grąžos santykį.

3. Elgsenos šališkumai – galima įtaka rizikos vertinimui, kurią sudaro per didelis pasitikėjimas, nuostolių vengimas, bandos efektas ir kiti veiksniai.

Rizikos tolerancijos įvertinimas dažnai pradedamas nuo struktūrizuotų klausimynų, kurie apima tiek finansinius, tiek psichologinius aspektus. Vienas žinomiausių instrumentų – Grable ir Lytton (1999) rizikos tolerancijos testas, plačiai taikomas tiek praktikoje, tiek empirinėse studijose. Pirminė 20 klausimų skalė, atlikus psichometrinę analizę, buvo sutrumpinta iki 13 klausimų (1 priedas), apimančių tris konstrukcijas: investicinę riziką, komfortą ir patirtį priimant spekuliacinę riziką (Grable ir Lytton, 1999). Kiekvienas klausimo atsakymas turi priskirtą taškų skaičių, kurie vėliau sumuojami nustatant individualų rizikos profilį. Ši 13 elementų versija pateikia praktines 13–47 taškų interpretacines ribas ir rekomendacijas taikomajam vertinimui (Rabbani et al., 2018).

Tyrimai rodo, kad šis instrumentas pasižymi patikimumu ir validumu – Grable ir Lytton (1999) atliko psichometrinę analizę, kuria įrodė klausimyno pagrįstumą. Be to, testas yra lengvai adaptuojamas skirtingoms tikslinėms grupėms, įskaitant mažmeninius investuotojus, studentus, pensininkus ar net aukštos rizikos tolerancijos profesionalus. Vėlesniais empiriniais tyrimais Gilliam et al. (2010), išanalizavo rizikos tolerancijos determinantus tarp prarastosios (angl. *baby boomer*) kartos atstovų ir nustatė, kad rizikos tolerancijai reikšmingos įtakos turi tokie veiksniai kaip amžius, išsilavinimo lygis, pajamų dydis, grynasis turtas ir lytis. Nors šis tyrimas nesirėmė stebimais elgsenos rodikliais, jo rezultatai papildomai pagrindė Grable ir Lytton testo aktualumą, parodant, kad demografiniai ir socioekonominiai kintamieji gali būti reikšmingi rizikos profilio formavimui. Todėl Grable ir Lytton testas išlieka vienu iš dažniausiai rekomenduojamų instrumentų finansų planuotojams, siekiantiems objektyviai vertinti individualius investavimo sprendimus lemiančius veiksnius bei juos pritaikyti portfelio formavimo strategijai.

Vertinant investuotojo rizikos toleranciją, galimas optimalus portfelio suformavimas pagal jo individualius poreikius, o ne tik pagal teorinius optimizavimo kriterijus. Pavyzdžiui, investuotojas, kuris formaliai galėtų toleruoti didesnę riziką pagal amžių ir pajamas, tačiau emociškai jautriai reaguoja į trumpalaikius nuostolius, gali nuspręsti rinktis mažesnės rizikos portfelį, kad išvengtų impulsyvių sprendimų. Taip pat rizikos tolerancijos įvertinimas svarbus ir portfelio strateginiam perbalansavimui, nes keičiantis investuotojo gyvenimo situacijai (pvz., sukūrus šeimą), kinta ir jo priimtinos rizikos lygis.

Apibendrinant galima teigti, kad investicinės rizikos valdymas yra kompleksiškas procesas, apimantis ne tik kiekybinius rizikos matavimo metodus, bet ir strateginius sprendimus bei individualius investuotojo bruožus. Praktikoje taikomi strateginiai metodai, tokie kaip diversifikacija, portfelio

perbalansavimas ar hedžingas, padeda investuotojui prisitaikyti prie rinkos nepastovumo, mažinant neapibrėžtumo įtaką portfelio vertei. Tačiau efektyvus rizikos valdymas neįmanomas be aiškaus investuotojo rizikos tolerancijos įvertinimo – būtent šis psichologinis aspektas leidžia užtikrinti, kad taikoma strategija būtų ne tik ekonomiškai pagrįsta, bet ir priimtina asmeniui.

Taigi, nors rizikos valdymo metodai suteikia priemonių identifikuoti, įvertinti ir mažinti įvairių rūšių riziką, praktiniame investavime itin svarbu pasirinkti tokią strategiją, kuri ne tik apsaugo kapitalą, bet ir padeda pasiekti ilgalaikių investicinių tikslų. Viena iš plačiausiai taikomų strategijų – portfelio diversifikavimas. Toliau analizuojama, kaip diversifikacija prisideda prie rizikos mažinimo ir kokie jos taikymo principai leidžia optimizuoti portfelio grąžos ir rizikos santykį.

1.3. Portfelio diversifikavimo strategijos

Portfelio diversifikavimas yra viena iš esminių investavimo strategijų, kuria siekiama sumažinti bendrą investicinės grąžos svyravimą – riziką, paskirstant investicijas tarp įvairių aktyvų, sektorių, regionų ar strategijų. Anot Bodie et al. (2014), diversifikacijos tikslas – išnaudoti neigiamą skirtingų turto grąžų koreliaciją ir taip suformuoti efektyvesnį portfelį. Diversifikavimas nėra vien rizikos mažinimo technika – tai ir svarbus strateginis įrankis, padedantis optimizuoti grąžos ir rizikos santykį.

Diversifikavimo samprata išplėtotą klasikiniuose portfelio teorijos modeliuose. Pagal H. Markowitz (1952) efektyviosios sienos (angl. *efficient frontier*) teoriją, investuotojas pasiekia optimalų investicinį rezultatą, kai portfelis sudarytas taip, kad esant tam tikram rizikos lygiui būtų pasiekama maksimali grąža arba tam tikrai grąžai būtų prisiimama minimali rizika. Tam būtina į portfelį įtraukti įvairius aktyvus, pasižyminčius žema arba neigiama koreliacija.

Damodaran (2012) taip pat pabrėžia, kad kuo mažesnė aktyvų tarpusavio koreliacija, tuo didesnė diversifikacijos nauda. Esminė diversifikacijos vertė slypi tame, kad mažai arba neigiamai tarpusavyje koreliuojančių aktyvų sujungimas leidžia sumažinti bendrą portfelio svyravimą be būtinybės atsisakyti grąžos potencialo. Remiantis jo požiūriu, efektyvi diversifikacija negali būti vien atsitiktinis aktyvų derinimas – ji turi būti pagrįsta duomenimis ir nuosekliu portfelio valdymu.

Damodaran išskiria tris svarbius praktinius aspektus, kurie lemia diversifikacijos efektyvumą: (1) kiek aktyvų reikėtų įtraukti į portfelį, (2) kaip šie aktyvai turėtų būti paskirstyti pagal svorius, ir (3) kaip dažnai portfelis turėtų būti peržiūrimas ir atnaujinamas. Pirmuoju aspektu jis pažymi, kad diversifikacijos nauda išauga sparčiai įtraukiant pirmuosius 10–20 aktyvų, tačiau vėliau grąžos dispersijos sumažėjimas tampa ribotas – tai atitinka ir empirinius Elton ir Gruber (1997) pastebėjimus. Antruoju aspektu

akcentuojamas portfelio svorių paskirstymo metodas – pvz., ar jie grindžiami kapitalizacijos dydžiu, ar optimizavimo modeliu, ar vienodai paskirstyti. Skirtingi metodai turi skirtingas rizikos ir grąžos savybes, o pasirenkamas būdas turi būti nuoseklus ir atitikti investuotojo strategiją. Galiausiai, Damodaran trečiuoju punktu iškelia portfelio peržiūros dažnumo klausimą. Per dažnas perbalansavimas gali padidinti sandorių sąnaudas, mokesčius ir padidinti portfelio jautrumą rinkos triukšmui. Kita vertus, pernelyg retas portfelio atnaujinimas gali leisti nukrypti nuo pageidaujamo rizikos lygio. Todėl optimalus diversifikuoto portfelio valdymas turėtų remtis subalansuotu požiūriu tarp strateginės kontrolės ir veiklos efektyvumo.

1.3.1. Diversifikavimo tipai

Diversifikavimą galima klasifikuoti pagal kelis kriterijus, kurių kiekvienas pasižymi skirtingu rizikos mažinimo potencialu. Remiantis Bodie et al. (2014), Maginn et al. (2007) bei Damodaran (2012) darbais, galima išskirti penkias pagrindines diversifikacijos rūšis, kurios yra plačiausiai taikomos investavimo praktikoje:

1. Turto klasių diversifikacija – dažniausiai taikomas diversifikacijos modelis, kai portfelyje derinami skirtingų rūšių aktyvai: akcijos, obligacijos, nekilnojamasis turtas, žaliavos, gryniesi pinigai ir pan.
2. Sektorinė diversifikacija – investicijos paskirstomos tarp skirtingų ekonominių sektorių (pvz., technologijų, sveikatos apsaugos, energetikos ir kt.), taip mažinant riziką, susijusią su vieno sektoriaus cikliškumu ar specifiniais šokais.
3. Geografinė diversifikacija – portfelis formuojamas įtraukiant aktyvus iš skirtingų šalių ar regionų. Tokiu būdu investuotojas mažina sistemine riziką, kylančią dėl politinio nestabilumo, teisinės aplinkos pokyčių ar vietinių ekonominių krizių.
4. Valiutų diversifikacija – ypač aktuali tarptautiniuose portfeliuose. Investavimas į skirtingomis valiutomis denominuotus aktyvus leidžia sumažinti riziką, susijusią su vienos valiutos devalvacija ar svyravimais, taip veikiant bendrą grąžą.
5. Strateginė diversifikacija – pagrįsta skirtingų investavimo stilių derinimu (pvz., vertės ir augimo investavimu, pajamų strategijomis ir pan.). Tai leidžia investuotojui išnaudoti rinkos cikliškumą ir paskirstyti investicijas tarp skirtingų valdymo metodų – aktyvaus ir pasyvaus.

Šios diversifikacijos rūšys laikomos esminiais šiuolaikinio portfelio valdymo elementais ir sudaro pagrindą tiek rizikos mažinimo, tiek stabilios grąžos užtikrinimo strategijoms.

1.3.2. Efektyvios diversifikacijos sąlygos ir ribotumai

Nors ankstesniuose poskyriuose aptarta diversifikacijos nauda ir jos tipai, svarbu įvertinti ir tuos veiksnius, kurie lemia jos efektyvumą bei ribotumus. Visų pirma, empiriniai tyrimai (Elton ir Gruber, 1995) rodo, kad didžioji dalis rizikos mažinimo efekto pasiekama į portfelį įtraukus 10–20 statistiškai nekoreliuojančių aktyvų. Papildomas diversifikavimas po šios ribos dažnai duoda menką naudą, tačiau ženkliai padidina valdymo sudėtingumą, ypač smulkiesiems investuotojams. Be to, per plati diversifikacija gali lemti ir neigiamą efektą, kai žemos rizikos arba žemos grąžos aktyvai sumažina bendrą portfelio pelningumą. Kita rizika – fondų ar ETF struktūrinis dubliavimasis, kai, siekiant diversifikuoti, investuotojas netyčia susiduria su turto koncentracija tose pačiose įmonėse ar sektoriuose.

Diversifikacijos efektyvumas taip pat mažėja sisteminių krizių metu. Longin ir Solnik (2001) empiriškai įrodė, kad finansinių krizių metu tarptautinių akcijų koreliacijos reikšmingai išauga, o tai sumažina diversifikacijos gebėjimą apsaugoti nuo nuostolių – būtent tuo metu, kai investuotojai jos labiausiai tikisi. Tai susiję su rinkos dalyvių tendencija vieningai reaguoti į sukrėtimus, kas sukelia sinchronizuotus nuostolius net strategiškai diversifikuotuose portfeliuose.

Apibendrinant galima teigti, kad portfelio diversifikavimas išlieka vienu svarbiausių ir plačiausiai taikomų rizikos valdymo principų, leidžiančiu sumažinti investicinės grąžos svyravimus bei optimizuoti rizikos ir grąžos santykį. Diversifikacijos efektyvumas priklauso ne tik nuo aktyvų atrankos ar jų koreliacijos, bet ir nuo investuotojo gebėjimo taikyti disciplinuatą valdymo strategiją bei prisitaikyti prie besikeičiančių rinkos sąlygų. Vis dėlto, kaip rodo empiriniai tyrimai, diversifikacijos galimybės yra ribotos ypač krizės metu, o netinkamas taikymas gali lemti perteklinį portfelio sudėtingumą ir sumažintą grąžą.

Būtina pabrėžti, kad net optimaliai diversifikuotas portfelis gali tapti neveiksmingas, jei investuotojas priima emocijomis pagrįstus sprendimus arba ignoruoja portfelio priežiūros discipliną. Todėl toliau analizuojama, kaip psichologiniai veiksniai veikia investuotojų elgesį ir kokie kognityviniai šališkumai dažniausiai pasireiškia finansų rinkose.

1.4. Investavimo psichologija ir emociniai sprendimai

Nors tradicinė finansų teorija remiasi prielaida, kad investuotojai elgiasi racionaliai, daugelis tyrimų rodo, kad sprendimų priėmimo procese didelę įtaką daro psichologiniai veiksniai. Elgsenos finansai (angl. *behavioral finance*) – tai tarpdisciplininė mokslo kryptis, jungianti finansų teoriją, psichologiją ir sociologiją, analizuojanti kaip emocijos bei šališkumai lemia investuotojų elgesį (Thaler,

2005; Barber ir Odean, 2001). Šiame poskyryje apžvelgiami svarbiausi psichologiniai veiksniai, turintys įtakos investiciniams sprendimams, jų pasekmės bei galimos valdymo strategijos.

Vienas svarbiausių elgsenos finansų teorijos pamatų – perspektyvos teorija (angl. *prospect theory*), kurią sukūrė Daniel Kahneman ir Amos Tversky (1979). Ši teorija iš esmės paneigė tradicinės ekonomikos prielaidą, kad žmonės priima sprendimus remdamiesi racionalia naudos maksimizavimo logika. Perspektyvos teorija parodė, kad žmonės sprendimus dažnai priima emociniu pagrindu, lygindami galimus rezultatus ne su absoliučia nauda ar nuostoliu, bet su tam tikru psichologiniu atskaitos tašku. Vienas pagrindinių šios teorijos principų – nuostolių vengimas, kai investuotojai psichologiškai dvigubai stipriau reaguoja į galimus nuostolius nei į tokią pačią tikėtiną naudą. Tai paaiškina, kodėl net esant teigiamam statistiniam tikėtinumui, investuotojai neretai atsisako sandorių, jei jie sukelia nuostolio grėsmę – net ir tada, kai racionalus požiūris leistų manyti kitaip.

Kahneman (2011) savo vėlesniuose darbuose detalai analizuoja, kaip sprendimų priėmimo procesą paveikia ne tik racionali analizė, bet ir automatizuotos, emocinės reakcijos. Jo teorinis modelis, pagrįstas „dviejų sistemų mąstymu“ (*System 1* – greitas, instinktyvus; *System 2* – lėtas, analitinis), paaiškina, kodėl investuotojai dažnai pasiduoda impulsyviems sprendimams. Pavyzdžiui, kritus rinkos vertei, net ilgalaikiai investuotojai, turintys diversifikuotą portfelį, neretai pasirenka parduoti aktyvus tik todėl, kad emocijos ir baimė dominuoja prieš loginį mąstymą.

Thaler (2005) reikšmingai prisidėjo prie šios krypties plėtojimo įvesdamas sąvoką psichologinis sąskaitų tvarkymas (angl. *mental accounting*). Ši sąvoka apibūdina žmonių polinkį skirstyti pinigus į atskiras „psichologines sąskaitas“ pagal jų kilmę ar numatytą paskirtį, pavyzdžiui, „atlyginimo pinigai“, „premijos“, „dovanos“ ar „investicijos“. Net jei visos pinigų sumos ekonomiškai lygiavertės, investuotojai gali elgtis labai skirtingai, priklausomai nuo to, iš kurios „sąskaitos“ lėšos kilusios. Thaler pabrėžia, kad toks skirstymas dažnai veda prie neoptimalios rizikos valdymo struktūros, nes emocinis prierašumas prie tam tikrų pinigų šaltinių slopina objektyvų rizikos ir gražos vertinimą.

1.4.1. Dažniausi kognityviniai šališkumai investavime

Psichologiniai šališkumai yra sistemingi nukrypimai nuo racionalaus sprendimų priėmimo modelio, turintys reikšmingą įtaką investiciniams sprendimams. Ši sritis išsamiai nagrinėjama elgsenos finansų literatūroje. Reikšmingų įnašų šioje srityje pateikė Kahneman ir Tversky (1979), Barber ir Odean (2001), Montier (2007), Devenow ir Welch (1996) bei Pompian (2006). Remiantis šiais šaltiniais, galima išskirti keturis dažniausiai pasitaikančius kognityvinius šališkumus investuotojų elgsenoje:

1. Nuostolių vengimas (angl. *Loss aversion*) – investuotojai psichologiškai stipriau reaguoja į galimą nuostolį nei į tokio pat dydžio pelną. Kahneman ir Tversky (1979) parodė, kad žmonės yra linkę vengti sprendimų, kurie gali sukelti nuostolių, net kai statistiškai jie būtų naudingi. Šis šališkumas dažnai lemia ankstyvą pelno realizavimą ir nuostolingų pozicijų laikymą tikintis rinkos atsigavimo. Pompian (2006) šią tendenciją taip pat apibūdina kaip viena iš svarbiausių investavimo klaidų, kuri trikdo racionalų portfelio valdymą.
2. Per didelis pasitikėjimas (angl. *Overconfidence bias*) – investuotojai dažnai pervertina savo žinias, gebėjimą nuspėti rinkos judėjimą ar valdyti riziką. Barber ir Odean (2001) empiriškai įrodė, kad per dideliu pasitikėjimu pasižymintys investuotojai dažniau prekiauja, bet vidutiniškai pasiekia mažesnę grąžą. Montier (2007) priduria, kad šis šališkumas ypač ryškus vyrų tarpe ir dažnai pasireiškia negebėjimu priimti rinkos neapibrėžtumo.
3. Patvirtinimo šališkumas (angl. *Confirmation bias*) – žmonės yra linkę priimti tik tą informaciją, kuri patvirtina jų jau turimas nuostatas ar lūkesčius, ir ignoruoti priešingus argumentus. Pasak Montier (2007), tai vienas iš pagrindinių elgsenos šališkumų, dėl kurių investuotojai tampa selektyvūs informacijos vartotojai, o tai mažina sprendimų kokybę. Pompian (2006) taip pat akcentuoja, kad patvirtinimo šališkumas gali sukelti neobjektyvų rizikos vertinimą ir nepakankamą pasirengimą rinkos svyravimams.
4. Bandos efektas (angl. *Herding*) – šis šališkumas pasireiškia tada, kai investuotojai seka kitų elgesiu, ypač neapibrėžtumo ar panikos sąlygomis. Devenow ir Welch (1996) pažymi, kad bandos elgesys dažnai nėra racionalus, bet pagrįstas socialiniu spaudimu, baime praleisti galimybę arba nenoru prisiimti atsakomybės už savarankiškus sprendimus. Dėl šios priežasties šis efektas dažnai prisideda prie spekuliacinių rinkos burbulų ir masinių išpardavimų.

1.4.2. Emocijų įtaka sprendimams rinkoje ir jų mažinimas

Emocijos yra neišvengiama žmogaus sprendimų priėmimo proceso dalis, tačiau investavimo kontekste jos dažnai tampa viena pagrindinių neracionalių veiksmų priežasčių. Ypač svarbios dvi emocijos – baimė ir godumas – kurios investuotojų elgesį veikia poliarizuotai. Baimė skatina vengti rizikos, pervertinti nuostolių tikimybę ir dažnai lemia per ankstyvą pozicijų likvidavimą net esant laikinai rinkos korekcijai. Tuo tarpu godumas gali sukelti nepagrįstą optimizmą ir pernelyg rizikingus sprendimus, ypač burbulo formavimosi laikotarpiais, kai investuotojai pasiduoda minios euforijai (Lo, 2017). Šios emocijos daro įtaką ne tik mažmeniniams, bet ir profesionaliems investuotojams, ypač esant stipriam rinkos nepastovumui.

Neuroekonomikos tyrimai papildomai paaiškina šių reakcijų mechanizmus. Lo ir Repin (2002) nustatė, kad sprendimų priėmimo metu suaktyvėja ne tik prefrontalinė žievė, atsakinga už analitinį mąstymą, bet ir limbinė sistema, kuri apdoroja emocinius impulsus. Šis neurologinė sąveika reiškia, kad emocinės reakcijos gali dominuoti prieš racionalią analizę net tais atvejais, kai asmuo turi pakankamai žinių ir patirties. Dėl šios priežasties emocijos tampa svarbiu rizikos šaltiniu, ypač ilgalaikėje portfelio valdymo perspektyvoje.

Nors emociniai šališkumai yra neatsiejama žmogaus psichikos dalis, jų poveikį investavimo procese galima mažinti taikant struktūrizuotas ir disciplinuotas sprendimų priėmimo priemones. Remiantis elgsenos finansų literatūroje išskiriamais principais (Pompian, 2006; Thaler, 2005; Lo, 2017; Montier, 2007), šališkumų ir emocijų įtaką investavimo sprendimams galima mažinti taikant šias strategijas:

1. Investavimo plano laikymasis – aiški, iš anksto apibrėžta strategija padeda priimti sprendimus pagal racionalius kriterijus, o ne emocijas. Toks planas dažnai apima turto paskirstymą pagal investavimo tikslus, rizikos toleranciją ir investavimo horizontą.
2. Reguliarus portfelio perbalansavimas – sistemingas portfelio struktūros atnaujinimas leidžia išlaikyti norimą rizikos profilį ir sumažina spontaniškų sprendimų tikimybę. Tai taip pat padeda išvengti emocinių svyravimų, atsirandančių dėl per didelės priklausomybės nuo vienos turto klasės.
3. Automatizavimas – algoritmais pagrįsti sprendimų priėmimo įrankiai leidžia sumažinti emocinę įtaką investiciniams sprendimams, nes jie remiasi objektyviais kriterijais ir iš anksto nustatytais taisyklėmis.
4. Refleksyvus sprendimų peržiūrėjimas – nuoseklus savo sprendimų vertinimas, apimantis ne tik rezultatus, bet ir patį sprendimų priėmimo procesą, padeda identifikuoti ir koreguoti pasikartojančius šališkumus. Šis metodas taip pat skatina investuotojo emocinį atsparumą ir ilgalaikę finansinę savikontrolę.

Apibendrinant, elgsenos finansų tyrimai atskleidžia, kad psichologiniai veiksniai – emocijos ir kognityviniai šališkumai – turi reikšmingą poveikį investiciniams sprendimams. Net racionaliai suformuotas portfelis gali tapti neveiksmingas, jei investuotojas vadovaujasi baime, godumu ar šališkumais. Todėl svarbu ne tik atpažinti šias tendencijas, bet ir taikyti disciplinuotas sprendimų priemones.

Svarbu pabrėžti, jog investuotojų elgsena formuojama ne tik psichologiniais aspektais, bet ir būtinybe reaguoti į išorinės aplinkos keliamą riziką. Vienas iš praktinių būdų riboti šią riziką – taikyti apsidraudimo (hedžingo) strategijas, leidžiančias iš anksto valdyti nepalankių rinkos pokyčių poveikį. Todėl siekiant sukurti efektyvų portfelio optimizavimo modelį, svarbu suprasti hedžingo vaidmenį investicinių nuostolių mažinime, kas bus plačiau rašoma kitame poskyryje.

1.5. Apsidraudimo (hedžingo) vaidmuo investicinės rizikos valdyme

Investicinio portfelio rizika apima tiek sisteminius, tiek nesisteminius veiksnius, darančius įtaką grąžos nepastovumui ir galimiems nuostoliams. Nors statistiniai metodai, tokie kaip VaR ar CVaR, leidžia įvertinti nuostolių tikimybę esant tam tikram pasikliautinumo lygiui, efektyvus rizikos mažinimas praktikoje dažnai neįmanomas be aktyvaus rizikos valdymo instrumento – hedžingo. Hedžingas apibrėžiamas kaip pozicijų subalansavimo strategija, kuria siekiama sumažinti ar neutralizuoti portfelio riziką pasitelkiant išvestines finansines priemones (Hull, 2018).

Tarp dažniausiai taikomų hedžingo instrumentų yra ateities sandoriai (angl. *futures*), pasirinkimo sandoriai (angl. *options*) ir apsikeitimo sandoriai (angl. *swaps*), kurie leidžia apsidrausti nuo kainų, palūkanų normų ar valiutų kursų svyravimų (Alexander ir Baptista, 2004). Tokie instrumentai plačiai naudojami tiek institucinėje, tiek privačioje investavimo praktikoje, tačiau jų pasirinkimas ir taikymas priklauso nuo investuotojo rizikos profilio, portfelio struktūros ir rinkos sąlygų.

Empiriniai tyrimai rodo, kad tinkamai įgyvendintas hedžingas gali ženkliai sumažinti portfelio CVaR vertes. Pavyzdžiui, Rockafellar ir Uryasev (2002) nurodo, kad CVaR optimizacija, integruojanti delta neutralias hedžingo pozicijas, padeda ne tik stabilizuoti portfelio vertę, bet ir užtikrina didesnę atsparumą kraštutinėms rinkos svyravimų situacijoms. Kitas tyrimas (Bertsimas et al., 2004) patvirtina, kad portfelių, kuriuose hedžingo lygis koreliuojamas su CVaR jautrumu, nuostolių pasiskirstymas yra ženkliai stabilesnis lyginant su neapdraustais portfeliais.

Svarbus aspektas – hedžingo efektyvumas, kuris priklauso nuo pasirinktos metodikos ir apsidraudimo apimties. Cong, Tan ir Weng (2014) pabrėžia, kad optimalaus apsidraudimo strategijos formavimas pagal CVaR minimizavimą leidžia pasiekti žemesnį kraštutinių nuostolių lygį, išlaikant subalansuotą rizikos ir kaštų santykį. Autoriai siūlo taikyti dalinį (angl. *partial*) apsidraudimą, kai tik dalis pozicijos yra apsaugota nuo rizikos, o apsidraudimo lygis nustatomas taip, kad būtų minimizuotas CVaR rodiklis. Toks metodinis požiūris ne tik sumažina ekstremalių nuostolių tikimybę, bet ir leidžia efektyviau valdyti išlaidas, susijusias su apsidraudimo priemonių įsigijimu, išvengiant perteklinio saugumo.

Vis dėlto, hedžingas turi ir apribojimų. Pirma, jo taikymas reikalauja papildomų resursų, žinių bei nuolatinio pozicijų perbalansavimo. Antra, tam tikrais atvejais, ypač taikant agresyvesnes strategijas, jis gali sumažinti ir potencialią grąžą (Andersen et al., 2003). Todėl svarbu užtikrinti, kad hedžingas būtų ne tik techniškai teisingai įgyvendintas, bet ir priderintas prie investuotojo tikslų bei portfelio rizikos charakteristikų.

Apibendrinant galima teigti, kad hedžingas yra neatsiejama šiuolaikinio portfelio rizikos valdymo dalis. Literatūroje pabrėžiama, kad integravus jį į CVaR optimizavimą, galima sukurti dinamiškai prisitaikančius portfelius, kurie geba ne tik atitikti investuotojo toleruojamą rizikos lygį, bet ir efektyviai atsispirti išorinių šokų įtakai.

Kadangi svarbu įvertinti, kiek teorinėje analizėje aptarti komponentai – rizikos tolerancijos integracija, portfelio optimizavimas, emocinių veiksnių valdymas bei apsidraudimo galimybės – yra pritaikomi praktikoje, būtina atlikti egzistuojančių sistemų analizę. Toliau šiame skyriuje nagrinėjama, kokį funkcionalumą siūlo šiuo metu rinkoje prieinami portfelio optimizavimo sprendimai ir ar jie atitinka kompleksinius šiuolaikinio investuotojo poreikius.

1.6. Investicinio portfelio optimizavimo esami sprendimai

Šiuolaikinėje finansų rinkoje portfelio optimizavimo ir rizikos valdymo sprendimai vystomi per specializuotas institucines platformas, kurios apima sudėtingus rizikos modeliavimo, optimizacijos ir analizės funkcionalumus. Šiame skyriuje analizuojami vieni iš pažangiausių portfelio valdymo sprendimų: „MSCI Open Optimizer“, „Bloomberg Portfolio & Risk Analytics“ ir „Morningstar Direct“, remiantis oficialia jų dokumentacija.

1.6.1. „Bloomberg Portfolio & Risk Analytics“

„Bloomberg Portfolio & Risk Analytics“ sistema, integruota į „Bloomberg Terminal“ platformą, pateikia platų portfelio valdymo ir rizikos analizės priemonių spektrą. Sistemoje realizuotos funkcijos apima visus portfelio valdymo etapus: nuo istorinės analizės iki rizikos modelių ir optimizavimo sprendimų priėmimo. Istorinė portfelio analizė leidžia nagrinėti portfelio kaupimo rezultatus absoliučiu ir santykinu pagrindu, lyginant su pasirinktu indeksu. Analizės metu galima keisti laikotarpius, vertinti portfelio grąžą, standartinį nuokrypį, beta bei kitus grąžos-rizikos rodiklius (Bloomberg, 2018).

Veiklos atribucija realizuojama keliais lygiais: galima analizuoti sektoriaus, aktyvų atrankos, valiutos efektus, grąžos šaltinius pagal turto klases, regionus bei kelių veiksnių (angl. *multi-factor*) rizikos modelius. Papildomai galima atlikti transakcijų pagrindu grįstą atribuciją, identifikuojant

konkrečių sandorių indėlį į bendrą portfelio grąžą. Realaus laiko stebėjimo funkcijos leidžia sekti portfelio vertės pokyčius dienos eigoje, identifikuoti didžiausius teigiamus ar neigiamus indėlius pagal aktyvus, sektorius ar kitus klasifikatorius, naudojant kelių tiekėjų dieninius kainų informacijos srautus.

Portfelio struktūros analizė apima pagrindinius fundamentinius rodiklius (P/E, dividendinis pajamingumas, trukmė), lyginimą su etalonais bei galimybę integruoti vartotojo savarankiškai pateiktus duomenis. Sistema vertina pinigų srautus, naudodama „Bloomberg Dividend Forecast“ prognozes akcijoms ir kuponų bei pagrindinių sumų grafikus obligacijoms, taip pat leidžia atlikti likvidumo rizikos analizę pagal likvidavimo trukmę bei aktyvų koncentraciją mažiau likvidžiuose instrumentuose.

Rizikos analizė realizuojama fundamentalių kelių veiksnių rizikos modelių pagrindu. Galima apskaičiuoti absoliučią ir santykinę riziką, detalai nagrinėti rinkos, sektoriaus ar individualaus aktyvo įnašus į bendrą riziką bei atlikti rizikos skaidymą pagal pasirinktas klasifikacijas. Streso testavimas ir scenarijų analizė apima tiek istorinius įvykius (pvz., 2008 m. finansinė krizė, „Brexit“), tiek teorinius šokus (pvz., 300% VIX padidėjimas, palūkanų normos pokytis 100 bazinių punktų), leidžiant taip pat kurti individualius scenarijus. Rizikos vertinimui taip pat taikomi VaR modeliai visoms turto klasėms, palaikant Monte Carlo, istorinius ir parametrinius skaičiavimo metodus bei prekybos simuliacijas būsimiems sandoriams.

Prekybos simuliacijos ir optimizavimo funkcijos leidžia modeliuoti būsimų sandorių įtaką portfelio charakteristikoms ir rizikos struktūrai. Galima naudoti individualias grąžų prognozes, „Bloomberg“ transakcijų kaštų analizės modelius bei optimizavimo funkciją, kuri generuoja siūlomas sandorių sekas pagal investuotojo apibrėžtus tikslus. Atskaitomybės rengimas įgyvendinamas naudojant „PREP“ ataskaitų sistemą, leidžiančią formuoti įvairių tipų ataskaitas (pvz., „Global Risk Model“, „Hybrid Performance Attribution“), nurodyti skaičiavimo parametrus ir eksportuoti rezultatus skirtingais formatais (Excel, PDF, CSV, XML). Papildomai sistema palaiko portfelio integravimo funkcionalumą per „Bloomberg Upload“ įrankius, leidžiančius lankstų duomenų įkėlimą ir atnaujinimą.

1.6.2. „Morningstar Direct“

„Morningstar Direct“ yra integruota investicinės analizės platforma, apjungianti duomenų bazes, analizės modelius, rizikos vertinimo sistemas ir ataskaitų rengimo priemones. Sistemos funkcionalumas realizuotas per atskirus modulius, apimančius visus portfelio analizės ir valdymo etapus – nuo duomenų paieškos iki portfelio struktūrizavimo ir rizikos valdymo sprendimų. Portfelio optimizavimas įgyvendinamas naudojant „Asset Allocation“ modulį, kuriame taikomi keli optimizavimo modeliai: tradicinis „Mean-variance“ optimizavimas, „Black-Litterman“ modelis, CAPM modelis, istoriniai

modeliai bei „liability-driven“ optimizacija (Morningstar, Inc., 2020). Papildomai galima atlikti scenarijų pagrindu pagrįstą optimizaciją. Rizikos vertinimui vietoje standartinio nuokrypio gali būti naudojamas CVaR, o kovariacijų matrica keičiama scenarijų modeliais.

Sistemos „Portfolio Management“ modulis leidžia kurti modelinius portfelius, klientų sąskaitas bei individualius etalonus, o sukurti portfeliai gali būti integruojami su „Portfolio Analysis“ modulių, kuris leidžia atlikti veiklos atribuciją sektorių, regionų, turto klasių bei investavimo stiliaus pjūviais. „Total attribution“ analizė suteikia galimybę identifikuoti strateginės alokacijos, aktyvių nukrypimų bei konsultantų indėlio efektus, atskiriant gebėjimų ir negebėjimų komponentus.

Rizikos valdymo srityje naudojamas „Risk Model Analysis“ modulis, kuris pateikia portfelių jautrumą „Morningstar“ rizikos modeliuose apibrėžtiems veiksniams. Modeliai apima akcijų, fiksuotų pajamų instrumentų ir įvairių rinkų rizikos faktorius. „Performance Reporting“ modulis leidžia kurti individualizuotas portfelių veiklos ataskaitas, apjungiant grąžos, reitingų, rodiklių bei papildomų kriterijų duomenis su galimybe taikyti sąlygines formatavimo ir „Scorecard“ funkcijas. Rinkos stebėsenai naudojamas „Markets“ modulis, kuriame pateikiami realaus laiko kotiruotės, grafikai ir naujienos, o „Asset Flows“ modulis pateikia pinigų srautų analizę tarp skirtingų turto klasių, fondų tipų ir regioninių rinkų.

Ataskaitų rengimui naudojamas „Presentation Studio“ modulis, leidžiantis kurti faktų lapus, ataskaitas ir prezentacijas, integruojant tiek „Morningstar“ duomenis, tiek vartotojo importuotus duomenų rinkinius. „Workspace“ modulis suteikia galimybę kurti ir saugoti individualius duomenų rinkinius, investicinių objektų sąrašus, paieškas ir pastabas, apjungiant skirtingus turto tipus vienoje darbo aplinkoje.

1.6.3. „MSCI Open Optimizer“

Remiantis MSCI pateikta technine dokumentacija, „MSCI Open Optimizer“ yra lanksti optimizavimo biblioteka, skirta portfelio valdymo problemų sprendimui įvairiuose investavimo kontekstuose (MSCI Inc., 2024). Ši sistema leidžia spręsti tokias užduotis kaip indeksų sekimas, turto paskirstymo optimizavimas, mokesčių optimizavimo strategijos bei įvairūs individualūs investavimo uždaviniai. Sistemoje įdiegti įvairūs optimizavimo algoritmai: „Mean-variance“ optimizacija, „risk parity“, „information ratio“ bei Sharpe rodiklio maksimizavimas. Galima papildomai įtraukti rizikos terminus į optimizavimo funkciją, penalizuoti „residual alpha“, suderinti grąžos prognozes su rizikos faktoriais bei taikyti „multi-period“ ir „multi-account“ optimizacijas, leidžiančias optimizuoti portfelius per skirtingus periodus ir valdyti keletą paskyrų vienu metu.

Rizikos valdymo srityje taikomos įvairios priemonės: „long-short“ optimizacija su svertų, pirkimo ir pardavimo limitais, nelinijiniais rizikos apribojimais. Galimi aktyvų skaičiaus ribojimai tiek visame portfelyje, tiek jo grupėse, prekybos apimtys kontrolė bei sandorių skaičiaus apribojimai pagal aktyvų tipus. Prekybos kaštai modeliuojami naudojant fiksuotus „piecewise-linear“ ir nelinijinius kaštų modelius. Mokestiniais apribojimams taikomi FIFO, LIFO, FIFO metodai, ribojami ilgalaikiai ir trumpalaikiai pelnai bei nuostoliai.

Sistema integruota į „MSCI“ infrastruktūrą ir naudojama įvairiuose „MSCI“ indeksuose bei rizikos modeliuose, įskaitant „Global Minimum Volatility“ indeksus. Vartotojams pateikiama sprendimų skaidrumo analizė per „Constraint shadow cost“ ataskaitas, „Frontier“ analizę bei išsamias introspekcijos funkcijas. Techniniu požiūriu „MSCI Open Optimizer“ veikia per API sąsajas C#, C++, Java, Python kalbomis, palaiko MATLAB ir R platformas, duomenų apdorojimui naudoja XML ir Protobuf formatus, veikia 64-bit „Windows“ ir „Linux“ sistemose, palaiko „multi-threading“ ir gali būti diegiama distribuciniuose (angl. *grid*) skaičiavimo tinkluose.

1.6.4. Sistemų lyginamoji analizė

Atsižvelgiant į detalai išanalizuotus esamus portfelio optimizavimo sprendimus – „MSCI Open Optimizer“, „Bloomberg Portfolio & Risk Analytics“ bei „Morningstar Direct“ – galima sudaryti sisteminių jų funkcionalumo palyginimą pagal pagrindinius portfelio optimizavimo, rizikos vertinimo ir individualizavimo kriterijus. Lyginamoji šių sistemų analizė pateikiama 2 lentelėje.

2 lentelė

Lyginamoji sistemų analizė

Funkcionalumas	„MSCI Open Optimizer“	„Bloomberg Portfolio & Risk Analytics“	„Morningstar Direct“
Optimizavimo modelių kiekis	6	Nenurodyta	5
Individualių rizikos profilių integracija	-	-	-
Hedžingo poreikio skaičiavimas	-	-	-
Streso testavimas	-	+	+
Mokesčių optimizacija	+	-	-
Long-short optimizacija	+	-	-
Multi-account portfelių optimizacija	+	-	-
Prekybos kaštų integracija	+	+	-

Funkcionalumas	„MSCI Open Optimizer“	„Bloomberg Portfolio & Risk Analytics“	„Morningstar Direct“
Likvidumo rizikos analizė	-	+	-
Veiklos atribucija	+	+	+
Portfelio jautrumo analizė	+	+	+
Technologinis įgyvendinimas	API: C++, Java, C#, Python, MATLAB, R; distribuciniai (angl. <i>grid</i>) skaičiavimai	Integruota į „Bloomberg Terminal“	Integruota į „Morningstar Direct aplinką“

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis oficialia sistemų dokumentacija.

Apibendrinant galima teigti, kad detali konkurencinė analizė atskleidė egzistuojančių pažangių portfelio optimizavimo sistemų technologinį išsivystymą bei jų apribojimus sprendžiant individualizuoto rizikos valdymo uždavinius. Nors analizuotos platformos – „MSCI Open Optimizer“, „Bloomberg Portfolio & Risk Analytics“ ir „Morningstar Direct“ – taiko platų optimizavimo modelių spektrą, įskaitant CVaR, VaR bei scenarijų pagrįstas simuliacijas, jose nėra realizuota struktūriškai integruota investuotojo psichologinio profilio vertinimo sistema bei nėra automatizuoto apsidraudimo poreikio skaičiavimo pagal CVaR lygio viršijimą. Šios spragos sudaro prielaidas tolesniam modelio vystymui, apjungiančiam psichologinių, elgsenos bei kiekybinių rizikos valdymo elementų visumą.

Teorinė ir konkurencinė analizė parodė, kad vien rizikos ir grąžos santykio vertinimo nepakanka – būtina integruoti investuotojo psichologinius ypatumus bei praktinius rizikos valdymo sprendimus, kurie šiuo metu nėra sistemiškai realizuoti egzistuojančiose optimizavimo platformose. Šiuolaikinėje investavimo aplinkoje ypač svarbu kurti sprendimus, kurie būtų ne tik teoriškai pagrįsti, bet ir individualizuoti pagal investuotojo finansinį elgesį bei psichologinę toleranciją rizikai. Todėl antroje darbo dalyje bus siūlomas modelis, integruojantis šiuos komponentus į investicinio portfelio optimizavimo sistemą.

2. INVESTICINIO PORTFELIO OPTIMIZAVIMO IR INDIVIDUALIOS RIZIKOS VALDYMO METODAS

Atsižvelgiant į teorinėje dalyje nagrinėtus investicinio portfelio optimizavimo metodus, rizikos vertinimo modelius, individualios rizikos tolerancijos svarbą bei išvestinių finansinių priemonių taikymą rizikos valdymui, šiame skyriuje plėtojama sistema, skirta personalizuotam investicinio portfelio sudarymui ir optimizavimui. Sistemos unikalumas grindžiamas trimis tarpusavyje sąveikaujančiais komponentais:

1. Rizikos minimizavimu taikant CVaR su svorių apribojimais – šis metodas leidžia įvertinti tikėtinus kraštutinius nuostolius, geriau atspindėdamas rizikos pasiskirstymą nei klasikiniai VaR modeliai. Papildomai yra užtikrinama, kad portfelis būtų diversifikuotas išvengiant ekstremalių pozicijų.
2. Individualios rizikos tolerancijos integravimu – kiekvienam investuotojui priskiriamas rizikos profilis, kuris nulemia leistiną portfelio rizikos lygį ir leidžia individualizuoti sprendimus pagal investuotojo psichologinį ir finansinį jautrumą.
3. Hedžingo poreikio vertinimu – sistema į portfelio struktūrą integruoja papildomą kriterijų, pagrįstą minimaliu reikalingu išvestinių priemonių hedžingo dydžiu, kad CVaR neviršytų nustatytos rizikos ribos. Toks požiūris leidžia į portfelio optimizavimą įtraukti papildomą realios rinkos sąlygoms svarbų aspektą – apsidraudimo kainą.

Šis modelis atliepia šiuolaikinių investavimo praktikų poreikius – vien tik matematiniai modeliai nebegarantuoja portfelio stabilumo, todėl būtinas papildomas mechanizmas, kuris įtraukia investuotojo elgsenos aspektus ir realų rinkos valdymo instrumentų panaudojimą. Toliau bus aprašomas modelis, kuris ne tik optimizuoja portfelio struktūrą pagal CVaR, bet ir modeliuoja jo atsparumą per reikalaujamą hedžingo dydį.

2.1. Investicinio portfelio optimizavimo modelio projektavimas

Šiame poskyryje detalai aprašomas optimizavimo modelio veikimo principas – pateikiama matematinė tikslo funkcijos formulė, scenarijų generavimo metodika, apsidraudimo poreikio vertinimo algoritmas, duomenų šaltinių pagrindimas ir sprendimo apribojimai pagal investuotojo rizikos klasę. Sistema orientuota į individualų pritaikymą – portfelio alokacija formuojama taip, kad minimizuotų būtinybę taikyti apsidraudimo strategijas, užtikrinant portfelio stabilumą įvairiose rinkos situacijose.

2.1.1. Optimizavimo tikslas ir sprendžiamoji problema

Pirmojoje darbo dalyje atlikta analizė parodė, kad investicinio portfelio sudarymas reikalauja ne tik matematiškai pagrįstų sprendimų, bet ir psichologinių elgsenos bei rizikos valdymo aspektų integracijos. Klasikiniai portfelio sudarymo modeliai, tokie kaip Markowitz vidurkio ir dispersijos modelis ar MAD, dažnai ignoruoja kraštutinių nuostolių riziką, elgsenos veiksnius bei galimus sisteminius šokus. Todėl antrame skyriuje projektuojamas modelis, kuris būtų labiau pritaikytas šiuolaikinėms rinkos sąlygoms bei individualiems investuotojų poreikiams. Be to, net ir pažangūs CVaR modeliai, jei netaikomi papildomi svorių apribojimai, gali suformuoti portfelius, kuriuose didelė dalis aktyvų įgauna nulinius svorius. Tokia portfelio struktūra mažina diversifikaciją ir apsunkina praktinį pritaikymą.

Pagrindinė sprendžiama problema – kaip suformuoti investicinį portfelį, kuris optimizuotų grąžos ir rizikos santykį, sumažintų jautrumą kraštutiniams nuostoliams bei atsižvelgtų į investuotojo psichologinį profilį. Pirmajame skyriuje išanalizuoti CVaR, rizikos tolerancijos vertinimo ir hedžingo principai leidžia apibrėžti modelio struktūrą. Modelio tikslas – rasti tokį portfelio paskirstymą, kuris:

- minimalizuoja portfelio CVaR reikšmę, taip užtikrinant, kad investuotojas bus apsaugotas nuo didžiausių galimų nuostolių 95% pasikliautinumo lygiu (žr. 1.1 skyrių);
- įtraukia svorių apribojimus, siekiant užtikrinti portfelio diversifikaciją ir išvengti nulinės alokacijos pasirinktiems aktyvams (žr. 1.1 skyrių);
- atitinka investuotojo rizikos tolerancijos lygį, nustatytą pagal struktūrizuotą Grable ir Lytton testą, priskiriant portfelį vienai iš investuotojo rizikos klasių, su skirtingais rizikos apribojimais (žr. 1.2.2 skyrių);
- minimizuoja poreikį naudoti apsidraudimo instrumentus, kai CVaR reikšmė viršija toleruojamą lygį, taip užtikrinant portfelio stabilumą, bet kartu optimizuojant apsidraudimo kaštus (žr. 1.5 skyrių).

Toks modelis yra adaptuojamas, nes portfelio formavimo taisyklės ir rizikos ribos nustatomos pagal investuotojo rizikos toleranciją, investavimo horizontą ir prisiimamos rizikos lygį. Tuo pačiu, įtraukus hedžingo komponentą kaip papildomą rizikos valdymo priemonę, užtikrinamas papildomas apsaugos sluoksnis nuo netikėtų rinkos šokų. Visa tai sudaro pagrindą sistemai, kuri yra ne tik teoriškai pagrįsta, bet ir praktiškai adaptuojama pagal investuotojo individualias savybes.

2.1.2. Matematinis CVaR modelio pagrindas ir diversifikacijos užtikrinimas

Nors CVaR samprata teorinėje dalyje jau buvo pristatyta kaip vienas pažangiausių rizikos vertinimo metodų (žr. 1.1 skyrių), šiame poskyryje detaliau išdėstoma, kaip šis rodiklis taikomas portfelio optimizavimo procese. Skirtingai nei klasikinis VaR, kuris nustato nuostolio ribą tam tikru pasikliautinumo lygiu, CVaR vertina vidutinį nuostolį viršijus šią ribą, todėl jis yra tinkamesnis kraštutinės rizikos analizei bei geriau atspindi realius investuotojo finansinius nuostolius nepalankiausiose situacijose.

Matematinis CVaR apibrėžimas, taikomas portfelio optimizavimui, buvo išplėtotas Rockafellar ir Uryasev (2000) darbe, kuriame pasiūlyta suformuluoti CVaR kaip optimizuojamą tikslo funkciją, priklausančią nuo portfelio svorių ir scenarijų nuostolių pasiskirstymo. Jų suformuluota funkcija leidžia CVaR integruoti į optimizavimo sistemą taikant linijinio programavimo metodus, o tai užtikrina didesnį sprendinio efektyvumą. Remiantis jų metodu, CVaR formulė išreiškiama taip:

$$\min_{\omega, \zeta} \left\{ \zeta + \frac{1}{1-\alpha} \sum_{s=1}^N \rho_s \cdot \max(L(\omega, s) - \zeta, 0) \right\},$$

čia: ω – portfelio aktyvų svorių vektorius; ζ – VaR riba esant pasikliautinumo lygiui α ; $L(\omega, s)$ – portfelio nuostolis konkrečiame scenarijuje s ; ρ_s – scenarijaus tikimybė (dažnai vienoda, $\frac{1}{N}$); α – pasikliautinumo lygis.

Svarbu pabrėžti, kad vienas esminių CVaR modelio trūkumų yra jo polinkis formuoti itin koncentruotus portfelius, kai optimizavimo procese keliems aktyvams priskiriami nuliniai arba itin maži svoriai, o keli kiti aktyvai gauna itin dideles reikšmes. Tokia situacija kyla todėl, kad siekiant minimalizuoti sąlyginį nuostolį, modelis linkęs eliminuoti visus aktyvus, kurie prisideda prie portfelio kraštutinės rizikos (Xu et al., 2016). Praktiniu požiūriu tai lemia prastą diversifikaciją ir padidina portfelio jautrumą atskirų aktyvų kainų pokyčiams.

Siekdami išspręsti šią problemą, Xu et al. (2016) pasiūlė svorių apribojimų taikymo metodą, kuriuo papildomas klasikinis Rockafellar ir Uryasev (2000) CVaR modelis. Tokiu būdu optimizavimo procese įvedami apatiniai ir viršutiniai svorių limitai, užtikrinantys, kad nė vieno aktyvo svoris nebūtų lygus nuliui ar neviršytų leistinos dalies portfelyje. Klasikiniame CVaR modelyje portfelio svoriams taikomas tik normalizavimo apribojimas:

$$\sum_{i=1}^n \omega_i = 1,$$

čia ω_i – i-tojo aktyvo svoris.

Tačiau, kaip rodo Xu et al. (2016), toks modelis be papildomų ribojimų gali sukurti ekstremalių svorių paskirstymus, kai keli aktyvai turi labai didelius svorius, o daugelis nulinius. Siekiant to išvengti, modelis papildomas svorių ribojimo sąlyga:

$$\omega_{i,min} \leq \omega_i \leq \omega_{i,max}, \forall i \in \{1,2,\dots,n\},$$

čia: $\omega_{i,min}$ – minimalus leidžiamas i-tojo aktyvo svoris; $\omega_{i,max}$ – maksimalus leidžiamas i-tojo aktyvo svoris.

Xu et al. (2016) tyrime, sudarius skirtingo dydžio optimalius portfelius, skirtingose rinkose, nustatyta, kad maksimalaus svorio ribos svyruoja nuo 18% iki 27%. Atsižvelgiant į šiuos rezultatus, šiame darbe taikoma 20% viršutinė svorio riba, užtikrinanti, kad nė vienas aktyvas nesudarys daugiau nei penktadalio viso portfelio vertės. Toks apribojimas leidžia išvengti per didelės vieno aktyvo koncentracijos ir palaikyti subalansuotą investicijų paskirstymą. Minimali aktyvo svorio riba, nustatyta tame pačiame tyrime, siekė apie 5%, kas rodo, jog mažesni svoriai nebeturi reikšmingos įtakos diversifikacijos efektyvumui.

Elton ir Gruber (1997) nustatė, kad didžiausia diversifikacijos nauda pasiekama įtraukiant pirmuosius 10–20 aktyvų, o vėliau portfelio rizikos mažėjimas tampa nežymus. Šis rezultatas patvirtinamas ir vėlesnėje literatūroje: Alexeev ir Dungey (2015) nustatė, kad 7–10 akcijų portfelis leidžia sumažinti 85–90% nesisteminės rizikos. Tang (2004) parodė, jog 20 akcijų portfelis vidutiniškai pašalina apie 95% nesisteminės rizikos, o papildomi 80 aktyvų suteikia tik 4% papildomą rizikos sumažėjimą. Kryzanowski ir Singh (2010) pabrėžė, kad 90% diversifikuojamos rizikos pašalinama investuojant į 20–25 aktyvus.

Atsižvelgiant į šių tyrimų rezultatus, šiame darbe nustatyta, kad optimali portfelio sudėtis turėtų apimti nuo 7 iki 20 aktyvų, nes toks intervalas leidžia pasiekti didžiausią diversifikacijos efektyvumą ir išvengti perteklinio išskaidymo, kai papildomų aktyvų įtraukimas nebesuteikia reikšmingos rizikos mažinimo naudos. Todėl kiekvieno aktyvo svoris ribojamas nuo 5 iki 20%, o bendras aktyvų skaičius nustatomas intervale 7–20, taip užtikrinant optimalų diversifikacijos ir rizikos balansą.

2.1.3. Rizikos tolerancijos integravimas

Klasikiniai investicinio portfelio optimizavimo modeliai paprastai remiasi racionalių sprendimų priėmimo modeliu. Tačiau, kaip pabrėžiama elgsenos finansų literatūroje, investuotojai ne visada elgiasi racionaliai – jų sprendimams įtaką daro emocijos, asmeninės patirtys ir psichologinis nusiteikimas

rizikai. Net optimaliai apskaičiuotas portfelis gali būti atmetamas arba koreguojamas, jei jis neatitinka investuotojo asmeninės rizikos tolerancijos.

Atsižvelgiant į šį teorinį pagrindą, optimizavimo algoritme įtraukiamas papildomas apribojimas – investuotojo rizikos tolerancijos riba. Ji nustatoma remiantis struktūrizuotu, empiriškai pagrįstu Grable ir Lytton (1999) testu (1 priedas), kuris plačiai naudojamas finansų planavime kaip priemonė įvertinti asmens polinkį toleruoti riziką. Testas susideda iš 13 klausimų, kurie apima įvairius elgsenos, finansinio saugumo suvokimo ir investicinių sprendimų aspektus. Atsakymai vertinami balais, kurių bendra suma leidžia įvertinti bendrą rizikos tolerancijos lygį.

Rabbani et al. (2018) pateikia praktinę 13 klausimų interpretaciją, kurioje rizikos tolerancija klasifikuojama į penkias grupes: 13–18 (žema), 19–22 (žemiau vidutinės), 23–28 (vidutinė), 29–32 (aukščiau vidutinės) ir 33–47 (aukšta). Tačiau, remiantis pirminiu Grable ir Lytton (1999) instrumentu ir siekiant vientisos taikomosios metodikos šiame darbe šios ribos apjungiamos į tris klases: K1 (žema) = 13–22, K2 (vidutinė) = 23–32, K3 (aukšta) = 33–47. Pagal šią statistinę informaciją, investuotojų rizikos klasių klasifikavimas pateikiamas 3 lentelėje.

3 lentelė

Rizikos tolerancijos klasifikavimas

Rizikos klasė	Testo balų intervalas	Rizikos lygio apibrėžimas
K1	13–22	Žema rizikos tolerancija
K2	23–32	Vidutinė rizikos tolerancija
K3	33–47	Aukšta rizikos tolerancija

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Grable ir Lytton (1999) ir Rabbani et al. (2018).

CVaR ribos (žr. 4 lentelę) pagal investuotojo rizikos tolerancijos lygį buvo nustatomos empiriškai (2 priedas), siekiant proporcingai apriboti galimus kraštutinius nuostolius pagal psichologinį investuotojo profilį. Ribų nustatymui atlikta S&P 500 indekso (^GSPC), atspindinčio plačią JAV akcijų rinką, rizikos analizė. Šis indeksas pasirinktas kaip atskaitos taškas vidutinės rizikos investuotojui, kadangi S&P 500 apima diversifikuotą didelės kapitalizacijos (angl. *large-cap*) akcijų portfelį, turintį $\beta \approx 1$, kuris pagal CAPM sampratą atitinka vidutinę sistemine akcijų rinkos riziką.

Remiantis 2020–2025 m. S&P 500 indekso dienos duomenimis, 95% pasiklivimo lygmens vienos dienos sąlyginė rizika (CVaR) siekia 3,2%. Atsižvelgiant į šį rezultatą ir siekiant užtikrinti proporcingą rizikos priskyrimą investuotojams, šiame darbe nustatytos šios dieninio CVaR ribos pagal

rizikos klases: mažai (K1) – iki 1,5%, vidutinei (K2) – iki 3%, o aukštai rizikai (K3) – iki 5%. Pažymėtina, kad nors portfelio rezultatai vertinami pasirinktame kalendorinių dienų horizonte, CVaR ribos kalibruojamos dienos masteliu, nes modelis remiasi dieninėmis grąžomis ir rizika optimizavimo uždavinyje skaičiuojama tuo pačiu dažniu, todėl dienis CVaR apribojimas yra patogiausiai interpretuojamas ir palyginamas tarp portfelių. Mažos rizikos investuotojai paprastai nesiekia prisiimti rinkos lygio rizikos ir orientuojasi į kapitalo išsaugojimą; vidutinės rizikos investuotojai yra pasirengę toleruoti svyravimus, panašius į rinkos indeksą; tuo tarpu aukštos rizikos investuotojai linkę prisiimti didesnę riziką, siekdami galimai viršyti rinkos grąžą. Tokios ribos atspindi skirtingą psichologinę rizikos toleranciją bei motyvaciją prisiimti nuostolių svyravimus siekiant aukštesnio investicinio rezultato.

4 lentelė

CVaR ribos pagal rizikos tolerancijos lygį

Rizikos klasė	Maksimalus CVaR ($\alpha = 0,95$)
K1	$CVaR \leq 1,5\%$
K2	$CVaR \leq 3\%$
K3	$CVaR \leq 5\%$

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis S&P 500 indekso CVaR empirine analize.

Tokiu būdu optimizavimo algoritmas negali siūlyti sprendinių, kuriuose portfelio sąlyginė rizika viršytų investuotojo tolerancijos rėmus, net jei tokie sprendiniai būtų teoriškai palankesni pagal grąžos ir rizikos balansą. Šis apribojimas leidžia ne tik formaliai susieti portfelio modelį su psichologiniu investuotojo profiliu, bet ir sumažina tikimybę, kad optimizuotas portfelis bus atmestas ar koreguojamas dėl emocinių priežasčių. Kaip rodo elgsenos finansų tyrimai (žr. 1.4 skyrių), kai portfelis neatitinka investuotojo psichologinės komforto zonos, dažnai priimami impulsyvūs ir nuostolingi sprendimai (pvz., per ankstyvas pardavimas, ignoruojama ilgalaikė strategija).

2.1.4. Hedžingo integravimas į portfelio rizikos valdymą

Investicinių portfelių rizikos valdyme CVaR modelis leidžia tiksliai įvertinti kraštutinių nuostolių riziką, tačiau realiomis rinkos sąlygomis net ir optimizuotas portfelis gali neatitikti investuotojo rizikos tolerancijos ribų. Siekiant sumažinti perteklinę riziką iki priimtino lygio, šiame modelyje taikoma hedžingo integracija, kuri papildomai prisideda prie CVaR korekcijos.

Hedžingas (angl. *hedging*) – tai apsidraudimo mechanizmas nuo finansinių nuostolių, pagrįstas rizikos kompensavimu per priešingai koreliuojančius instrumentus. Kaip nurodo Bodie et al. (2014),

dažniausiai hedžingas taikomas siekiant apsisaugoti nuo sisteminės rizikos veiksnių, tokių kaip rinkos kritimas, ir yra įgyvendinamas panaudojant:

- indeksų ateities sandorius (angl. *futures*),
- pasirinkimo sandorius (angl. *options*),
- apsisikeitimo sandorius (angl. *swaps*),
- skirtumo sandorius (angl. *CFD*).

Modelyje šis metodas taikomas kaip koreguojantis veiksnys – tik tada, kai optimizavimo metu nustatoma, kad portfelio CVaR viršija rizikos klasės ribą (nustatytą pagal Grable ir Lytton testą). Modelyje CVaR optimizacija vykdoma su apribojimu (žr. 4 lentelę):

$$CVaR_{\alpha}(\omega) \leq CVaR_{\max}^{(K)},$$

čia: $CVaR_{\alpha}(\omega)$ – apskaičiuota portfelio CVaR reikšmė pagal paskirstymo vektorių ω ; $CVaR_{\max}^{(K)}$ – didžiausia leistina CVaR reikšmė pagal investuotojo rizikos klasę $K \in \{K1, K2, K3\}$.

Jeigu šia sąlyga nesilaikoma, tuomet atsižvelgiant į Hull (2018) rekomendacijas, sistema skaičiuoja papildomo apsidraudimo poreikį per delta hedžingo analizę, remiantis portfelio jautrumu bendrai rinkos kryptėms:

$$\Delta_{\text{portfelio}} = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot \beta_i,$$

čia: β_i – i-tojo aktyvo beta koeficientas, rodantis jo jautrumą rinkos pokyčiams; ω_i – i-tojo aktyvo svoris portfelyje.

Apskaičiuotas portfelio delta parametras parodo, kiek ateities sandorių reikia atidaryti priešinga kryptimi rinkai, kad sumažėtų portfelio ekspozicija bendrai rinkos rizikai. Ta pati formulė analogiškai taikoma ir indeksų CFD, jei V_f interpretuojamas kaip vieno CFD nominali vertė. Siekiant subalansuoti portfelio jautrumą rinkos indeksui, taikoma ši formulė:

$$\text{Hedžingo dydis} = \frac{V_p \cdot \Delta_{\text{portfelio}}}{V_f},$$

čia: V_p – portfelio vertė; V_f – vieno skirtumo sandorio nominali vertė.

Šiame modelyje apsidraudimui taikomas konkretus ir plačiai prieinamas finansinis instrumentas – S&P 500 CFD. Nors teorinėje dalyje aptartos apsidraudimo priemonės apima ateities sandorius, pasirinkimo sandorius ir apsisikeitimo sandorius, šiame darbe prototipo lygmeniu pasirinkta jų netaikyti

dėl praktinio įgyvendinamumo. Ateities sandoriai atmetami dėl termino pabaigos ir su tuo susijusio pozicijų „pervertimo“ (angl. *roll*) poreikio, kuris reikalauja papildomos logikos ir gali iškreipti apsidraudimo rezultatą skirtingais laikotarpiais. Pasirinkimo sandoriai atkrenta dėl to, kad apsidraudimo dydis tampa priklausomas nuo papildomų parametrų (pvz., numanomo kintamumo), todėl didėja sprendinių jautrumas prielaidoms ir mažėja algoritmo stabilumas. Apsikeitimo sandoriai neįtraukiami dėl riboto prieinamumo individualiems investuotojams. Todėl CFD pasirinktas dėl beveik nenutrūkstamo likvidumo, smulkiai reguliuojamo nominalo (leidžiančio atidaryti net ir mažą poziciją), konkurencingu sandorių kaštų bei aukštos koreliacijos su bendra rinkos grąža. Nors CFD pozicijoms taikomi finansavimo (angl. *swap*) kaštai laikant jas per naktį, jų lankstumas leidžia efektyviai sumažinti bendrą portfelio rinkos riziką. Kai optimizavimo metu nustatoma, kad CVaR reikšmė viršija investuotojo rizikos klasės leistiną ribą, sistema automatiškai įvertina:

- reikiamą skirtumo sandorių skaičių, reikalingą rizikai sumažinti;
- koreguotą CVaR reikšmę po apsidraudimo priemonių taikymo.

Tokiu būdu užtikrinama, kad portfelio CVaR būtų suderinamas su investuotojo profiliu, o hedžingo taikymas būtų lengvai įgyvendinamas realiomis rinkos sąlygomis. Hedžingas taikomas tik tuomet, kai optimizuotas portfelis viršija CVaR ribą. Tokiu būdu išvengiama perteklinio draudimosi, kuris gali mažinti grąžos potencialą.

Hedžingo mechanizmo įtraukimas realizuojamas portfelio optimizavimo modulyje, kuris atlieka optimizavimo algoritmą. Apskaičiavus portfelio aktyvų alokacijos rezultatą, sistema patikrina, ar apskaičiuota CVaR reikšmė viršija investuotojo rizikos tolerancijos ribą, nustatytą pagal Grable ir Lytton (1999) klasifikaciją. Jei viršijimas nustatomas, aktyvuojamas hedžingo taikymo modulis. Šis modulis apskaičiuoja reikalingą apsidraudimo dydį – remdamasis portfelio Δ jautrumu bendram rinkos indeksui S&P 500, sistema apskaičiuoja būtiną skirtumo sandorių poziciją, kuri subalansuoja portfelį taip, kad sumažintų CVaR iki priimtino lygio.

2.1.5. Duomenų šaltiniai ir scenarijų generavimas

Efektyvus portfelio optimizavimas taikant CVaR modelį reikalauja struktūriškai patikimų duomenų. Šiame modelyje naudojami duomenys yra orientuoti į du pagrindinius informacijos šaltinius: (1) istorines finansinių aktyvų kainas ir (2) apsidraudimo instrumento kainų dinamiką. Modeliui naudojami istoriniai finansinių aktyvų kainų duomenys, gaunami iš „Yahoo Finance“ platformos. Šis šaltinis pasirinktas dėl šių priežasčių:

- nemokama ir vieša prieiga prie didelio aktyvų skaičiaus;
- patikimumas ir dažnas atnaujinimas.

Visi finansinių aktyvų kainų duomenys modelyje imami dieniniu periodiškumu, apimant horizonto laikotarpį. Taip siekiama užtikrinti pakankamą duomenų kiekį CVaR skaičiavimui ir scenarijų generavimui. Kadangi siūloma sistema apima apsidraudimo mechanizmų taikymą, papildomai renkami ir apsidraudimo instrumento kainų duomenys. Šie instrumentai vertinami kaip pagrindinė priemonė portfelio delta apsidraudimui, kai CVaR vertė viršija priimtina ribą. Jų kainų dinamika taip pat gaunama iš „Yahoo Finance“, užtikrinant duomenų nuoseklumą. Portfelio grąžos rizikai modeliuoti taikomas Monte Karlo scenarijų generavimo metodas, kuris remiasi šiais etapais:

1. Atsisiunčiami dieniniai portfelio aktyvų ir hedžingo instrumento kainų duomenys.
2. Apskaičiuojamos logaritminės grąžos, standartiniai nuokrypiai, aktyvų grąžų kovariacijos ir tarpusavio koreliacijos.
3. Generuojamas didelis skaičius (10000) atsitiktinių grąžos vektorių.
4. Kiekviename scenarijuje skaičiuojama portfelio reikšmė pagal konkrečią alokaciją.
5. Skaičiuojamas CVaR, remiantis $\alpha = 0,95$ pasikliautinumo lygiu, t. y. apskaičiuojama vidutinė nuostolio vertė blogiausiuose 5% scenarijų.

Kadangi scenarijų generavimas remiasi istorinių duomenų statistiniais parametrais, šiame etape būtina formalizuoti, kaip iš kainų gaunamos logaritminės grąžos, kaip įvertinamas standartinis nuokrypis, kovariacija ir apskaičiuojama tarpusavio koreliacija. Toliau pateikiamos formulės, naudojamos investicijų analizėje (Bodie et al., 2014):

$$r_t = \ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right),$$

čia r_t – logaritminė grąža laiko momentu t ; P_t – aktyvo kaina laiko momentu t ; P_{t-1} – aktyvo kaina ankstesniu laiko momentu $t - 1$.

$$\sigma = \sqrt{\text{Var}(R)},$$

čia σ – standartinis nuokrypis; $\text{Var}(R)$ – grąžos R dispersija; R – aktyvo grąža.

$$\text{Cov}(R_i, R_j) = E[(R_i - E(R_i))(R_j - E(R_j))],$$

čia $\text{Cov}(R_i, R_j)$ – aktyvų i ir j grąžų kovariacija; R_i – aktyvo i grąža; R_j – aktyvo j grąža; E – matematinė viltis; $E(R_i)$ ir $E(R_j)$ – atitinkamai aktyvų i ir j tikėtinosios grąžos.

$$\rho_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_i \sigma_j},$$

čia ρ_{ij} – koreliacijos koeficientas tarp aktyvų i ir j grąžų; σ_{ij} – aktyvų i ir j grąžų kovariacija; σ_i – aktyvo i grąžos standartinis nuokrypis; σ_j – aktyvo j grąžos standartinis nuokrypis.

2.1.6. Programinė struktūra ir algoritminė eiga

Kuriama sistema yra skaitmeninis įrankis investuotojams, skirtas individualaus investicinio portfelio optimizavimui, įtraukiant CVaR modelį, investuotojo rizikos toleranciją ir hedžingo apsidraudimą. Siekiant užtikrinti sistemos efektyvumą, išplečiamumą ir saugumą, pasirinktas žiniatinklio taikomosios programos architektūrinis sprendimas:

- Backend: „Node.js“ su „NestJS“ karkasu (TypeScript kalba) – dėl priklausomybių injekcijos ir architektūrinio aiškumo.
- Frontend: „Next.js“ (TypeScript kalba) – UI sąsajai suformuoti.
- Duomenų bazė: „MySQL“ – reliacinė duomenų bazė, sauganti naudotojų atsakymus, portfelio konfigūraciją, istorinius duomenis ir optimizavimo rezultatus ir kitus duomenis.
- Aktyvų duomenys: „Yahoo Finance API“ – istorinėms kainoms.

Algoritminė eiga:

1. Naudotojo registracija ir prisijungimas. Duomenys saugomi „MySQL“ duomenų bazėje.
2. Rizikos tolerancijos įvertinimas. Naudotojui yra pateikiamas klausimynas. Atsižvelgiant į atsakymus, naudotojas priskiriamas vienai iš trijų rizikos klasių (K1–K3), kuriai nustatyta leistina CVaR riba.
3. Finansinių aktyvų pasirinkimas. Investuotojas pats pasirenka, į kokių įmonių akcijas planuoja investuoti. Sistema automatiškai importuoja pasirinktų aktyvų istorinius duomenis iš „Yahoo Finance“.
4. Monte Karlo scenarijų generavimas. Pagal pasirinktų aktyvų grąžų statistines savybes modeliuojami atsitiktiniai grąžos scenarijai.
5. CVaR pagrįstas optimizavimas. Remiantis Rockafellar ir Uryasev (2000) metodu ir taikant linijinį programavimą, sudaroma tikslo funkcija, minimizuojanti portfelio CVaR. Optimizacija atliekama pagal Monte Karlo simuliuotus grąžos scenarijus, tenkinant naudotojo rizikos klasės apribojimus. Rezultatas – optimalus portfelio aktyvų paskirstymas procentais (alokacija).

6. Hedžingo poreikio vertinimas. Jei optimizuotas portfelis vis tiek viršija leistiną CVaR ribą, sistema modeliuoja, kokio dydžio delta hedžingas, naudojant S&P 500 skirtumo sandorius, sumažintų CVaR iki priimtino lygio.
7. Hedžingo kiekio skaičiavimas. Sistema, taikydama portfelio jautrumo Δ analizę, apskaičiuoja reikiamą S&P 500 skirtumo sandorių pozicijos dydį.
8. Galutinis sprendimas. Naudotojui pateikiamas rekomenduojamas portfelio paskirstymas kartu su apsidraudimo rekomendacija (jei taikytina), nurodant CVaR reikšmę prieš ir po optimizavimo, bei apsidraudimo įtaką.
9. Rezultatų saugojimas ir vizualizacija. Visa informacija išsaugoma duomenų bazėje ir vizualiai atvaizduojama naudotojo aplinkoje.

Apibendrinant galima teigti, kad sukurtas investicinio portfelio optimizavimo modelis, integruojantis CVaR, rizikos tolerancijos vertinimą ir delta hedžingo mechanizmą, sudaro pagrindą subalansuotiems ir individualizuotiems sprendimams. Sistema leidžia ne tik tiksliai įvertinti bei minimizuoti kraštutinių nuostolių riziką, bet ir pritaiko portfelį prie konkretaus investuotojo psichologinių rizikos ribų. Tokia struktūra efektyviai derina teorinius ir praktinius rizikos valdymo elementus, užtikrinant portfelio stabilumą įvairiose rinkos situacijose.

Toliau, sekančiame poskyryje, pristatoma sukurto investicinio portfelio optimizavimo modelio testavimo metodika ir vertinimo kriterijai. Ši metodika leis praktiškai įvertinti, kaip modelis veikia skirtingose investuotojų rizikos klasėse, ir nustatyti jo efektyvumą realiomis rinkos sąlygomis.

2.2. Modelio testavimo metodika ir vertinimo kriterijai

Modelio testavimo metodika grindžiama siekiu empiriškai įvertinti, kaip CVaR pagrindu optimizuotas portfelis veikia esant skirtingoms rinkos ciklo fazėms. Testavimas atliekamas naudojant vieną bendrą finansinių aktyvų rinkinį, o skirtingi portfeliai formuojami pasirenkant tris portfelio sudarymo datas, kurios atspindi skirtingas S&P 500 indekso raidas. Viena jų patenka į rinkos konsolidacijos laikotarpį, kita į ryškios augimo tendencijos fazę, o likusioji į kritimo tendencijos fazę.

Tokiu tyrimu siekiama įvertinti, ar portfelio formavimo momentas skirtingose rinkos ciklo fazėse lemia optimizavimo rezultatų skirtumus. Tyrime analizuojama, kaip keičiasi optimizuoto portfelio grąžos ir rizikos rodikliai konsolidacijos, augimo ir kritimo laikotarpiais, lyginant juos su bazine (lygių svorių) strategija. Be to, papildomai bus vertinama, kaip šie optimizuoti portfeliai gali būti pritaikomi skirtingoms investuotojų rizikos tolerancijos klasėms, taikant apsidraudimo mechanizmą.

Tyrime taikomas vienas finansinių aktyvų rinkinys, kuris pasižymi tarpsektorine diversifikacija. Siekiant empiriškai patikrinti modelio veikimą skirtinguose rinkos cikluose, „Yahoo Finance“ duomenimis, sudaromi trys portfeliai, formuojant juos trejomis skirtingomis datomis, reprezentuojančiomis skirtingas S&P 500 indekso fazes:

- 2015-01-01 – rinkos konsolidacijos laikotarpis, pasižymėjęs horizontalia kainų dinamika.
- 2023-11-01 – laikotarpis, kai rinka buvo augimo fazėje, pasiekusi naujas istorines aukštumas.
- 2022-01-01 – laikotarpis prieš paskelbiant Rusijos-Ukrainos karo pradžią, kai rinka pakeitė kryptį iš augimo į kritimo fazę.

2.2.1. Etapas 1: optimizuoto portfelio įvertinimas ir palyginimas su bazine strategija

Pirmajame etape sprendžiamas CVaR minimizavimo uždavinys trims portfeliams, suformuotiems skirtingomis rinkos sąlygomis, naudojant tą patį finansinių aktyvų rinkinį. Visais atvejais taikomi modelyje nustatyti svorių apribojimai (žr. 2.1.3 poskyrį) ir prielaida, kad portfelis yra pilnai investuotas. Portfeliai sudaromi fiksuotomis datomis, o kiekvienam jų taikomas 730 kalendorinių (~500 prekybos) dienų investavimo horizontas. Optimizavimui naudojami Monte Karlo metodu sugeneruoti 10000 scenarijų, o pasibaigus pasirinktam horizontui, apskaičiuojami realizuoti optimizuoto ir bazinio portfelio gražos ir rizikos rodikliai. Šiame etape abiem aktyvų rinkiniams (optimizuotam ir baziniam) vertinami šie kriterijai:

1. Realizuota 730 kalendorinių dienų graža, parodanti, ar optimizuotas portfelis faktiškai generavo didesnę gražą nei lygių svorių portfelis.
2. Rizikos rodikliai – dienos VaR ir CVaR, apskaičiuoti pagal realizuotų gražų pasiskirstymą, siekiant įvertinti nuostolių uodegų riziką trumpalaikiu horizontu.
3. Sharpe rodiklis ir beta koeficientas, rodantys gražos ir rizikos santykį bei portfelio jautrumą rinkos pokyčiams.

Tokie kriterijai leidžia empiriškai įvertinti CVaR pagrindu atlikto optimizavimo rezultatus skirtingose rinkos ciklo fazėse, analizuojant kaip keičiasi portfelio rizikos ir gražos charakteristikos, palyginti su neutraliu lygių svorių sprendiniu.

Sharpe rodiklio, beta, parametrinių VaR ir CVaR įverčių formulės šiame darbe pateikiamos remiantis investicijų analizės ir rizikos vertinimo literatūroje taikomomis apibrėžtimis (Bodie et al., 2014; McNeil et al., 2005). Toliau pateikiamos kriterijų skaičiavimui naudotos formulės:

$$\text{VaR}_\alpha = \mu + \sigma \Phi^{-1}(\alpha),$$

čia VaR_α – VaR su pasitikėjimo lygiu α ; μ – nuostolių skirstinio vidurkis; σ – nuostolių skirstinio standartinis nuokrypis; $\Phi^{-1}(\alpha)$ – standartinio normaliojo skirstinio α -kvantilis; $\alpha \in (0,1)$ – pasitikėjimo lygis.

$$\text{CVaR}_\alpha = \mu + \sigma \cdot \frac{\varphi(\Phi^{-1}(\alpha))}{1-\alpha},$$

čia CVaR_α – CVaR su pasitikėjimo lygiu α ; μ – nuostolių skirstinio vidurkis; σ – nuostolių skirstinio standartinis nuokrypis; $\Phi^{-1}(\alpha)$ – standartinio normaliojo skirstinio α -kvantilis; φ – standartinio normaliojo skirstinio tankio funkcija; $\alpha \in (0,1)$ – pasitikėjimo lygis.

$$S = \frac{r_p - r_f}{\sigma},$$

čia S – Sharpe rodiklis; r_p – portfelio (vidutinė) grąža; r_f – nerizikinga palūkanų norma; σ – portfelio grąžos standartinis nuokrypis.

$$\beta_A = \sum_{i=1}^n v_i \beta_i,$$

čia β_A – portfelio (aktyvų rinkinio) beta; v_i – i-tojo aktyvo svoris portfelyje; β_i – i-tojo aktyvo beta; n – aktyvų skaičius portfelyje.

2.2.2. Etapas 2: optimizuoto portfelio pritaikymas rizikos tolerancijos klasėms

Antrame etape vertinama, kaip CVaR pagrindu optimizuotas portfelis gali būti pritaikytas skirtingoms investuotojų rizikos tolerancijos klasėms. Tyrimo naudojamos trys klasės (K1 – žema, K2 – vidutinė, K3 – aukšta tolerancija), kurioms nustatytos dienos CVaR ribos – atitinkamai 1,5%, 3,0% ir 5,0%. Rizikos klasės nėra įtraukiamos į optimizavimo uždavinį: portfelio sudėtis ir svorių vektorius suformuotam portfeliui nustatomi nepriklausomai nuo rizikos profilio, o personalizavimas atliekamas vertinant apsidraudimo poreikį. Apsidraudimas modeliuojamas naudojant S&P 500 indeksu grįstus CFD sandorius, kurių pozicijos marža parenkama taip, kad sumažintų optimizuoto portfelio dienos CVaR iki konkrečiai rizikos klasei nustatytos ribos, nekeičiant bazinės portfelio struktūros. Šiame etape optimizuotiems portfeliams ir kiekvienai rizikos klasei vertinami šie kriterijai:

1. Dienos CVaR prieš ir po apsidraudimo, siekiant įvertinti, ar pavyksta pasiekti kiekvienai rizikos klasei nustatytas CVaR ribas.
2. Apsidraudimo poreikis, matuojamas pozicijos marža, atsižvelgiant į taikomą finansinį svertą.
3. Apsidraudimo bankrotų kiekis, siekiant įvertinti, ar apsidraudimo strategija išlieka įgyvendinama per visą investicinį horizontą esant maržos reikalavimams.

4. Apsidraudimo grąža ar nuostolis, siekiant įvertinti apsidraudimo kaštų ir naudos santykį.

Taip antrasis etapas leidžia įvertinti, ar siūlomas modelis gali sistemingai pritaikyti tą patį optimizuotą portfelį skirtingiems investuotojų rizikos profiliams, koreguojant tik apsidraudimo intensyvumą. Apsidraudimo poveikis vertinamas modeliuotai portfelio rizikai, remiantis tais pačiais istorinių grąžų duomenimis ir CVaR skaičiavimo principais, todėl išlaikomas metodinis nuoseklumas tarp optimizavimo ir rizikos personalizavimo vertinimo.

Apibendrinant, parengta testavimo metodika leidžia nuosekliai įvertinti pasiūlyto portfelio optimizavimo modelio efektyvumą ir praktinį pritaikomumą. Pirmame etape testuojamas pats optimizavimo metodas, lyginant jį su bazine strategija, o antrame etape vertinama, kaip tas pats optimizuotas portfelis gali būti personalizuojamas skirtingiems investuotojų profiliams, koreguojant tik apsidraudimo intensyvumą.

Kadangi siūlomas modelis yra teorinis sprendimas, būtina empiriškai įvertinti jo veikimą praktinėje situacijoje. Toliau pateikiamas tyrimas, kuriuo siekiama pademonstruoti modelio taikymą realių duomenų pagrindu, įvertinant CVaR minimizavimo rezultatus, rizikos klasės apribojimų įgyvendinimą ir hedžingo mechanizmo efektyvumą.

3. INVESTICINIO PORTFELIO OPTIMIZAVIMO IR INDIVIDUALIOS RIZIKOS VALDYMO METODO TAIKYMAS

Šiame skyriuje empiriškai tikrinamas suprojektuotas investicinio portfelio optimizavimo ir individualios rizikos valdymo metodas. Pirmiausia aprašomas sukurto prototipo veikimo principas. Toliau pateikiami naudoti duomenys ir jų paruošimo veiksmai, atliekamas CVaR pagrindu suformuoto portfelio optimizavimas taikant svorių ir diversifikacijos apribojimus, o gautas portfelis papildomai vertinamas pagal investuotojo rizikos tolerancijos klases (K1–K3), taikant delta pagrįstą apsidraudimo mechanizmą. Rezultatai analizuojami lyginant optimizuotą su baziniu (lygiais svoriais sudarytu) portfeliu ir vertinant pagrindinius grąžos, rizikos ir efektyvumo rodiklius. Skyrius užbaigiamas empirinio tyrimo apibendrinimu ir identifikuotais modelio taikymo ribotumais.

3.1. Metodo veikimo logika ir prototipas

Šiame skyriuje glaustai aprašoma sukurto metodo veikimo logika ir realizacija prototipe. Pirmiausia įvardijamos pagrindinės sistemos funkcijos ir panaudojimo atvejai, kuriuose rizikos tolerancija, CVaR pagrįstas optimizavimas ir apsidraudimas veikia kaip vientisa sprendimų seka. Tuomet pateikiama trijų sluoksnių architektūros apžvalga ir esminiai nefunkciniai reikalavimai, užtikrinantys saugą, patikimumą ir našumą. Skyrių užbaigia prototipo ekranai, parodantys pagrindinį naudotojo kelią nuo autentifikavimo iki portfelio rezultatų ir hedžingo rekomendacijų. Informacinės sistemos, realizuojančios metodą, prototipo kodas pateikiamas 3 priede.

3.1.1. Sistemos funkcijos

Šiame poskyryje detalizuojamas sistemos funkcionalumas, kuris yra atvaizduotas sistemos panaudojimo atvejų diagramoje (žr. 1 pav.). Diagrama apima tris aktorius: svečias, naudotojas ir išorinė paslauga „YahooFinanceAPI“.

Aktoriai ir rolės:

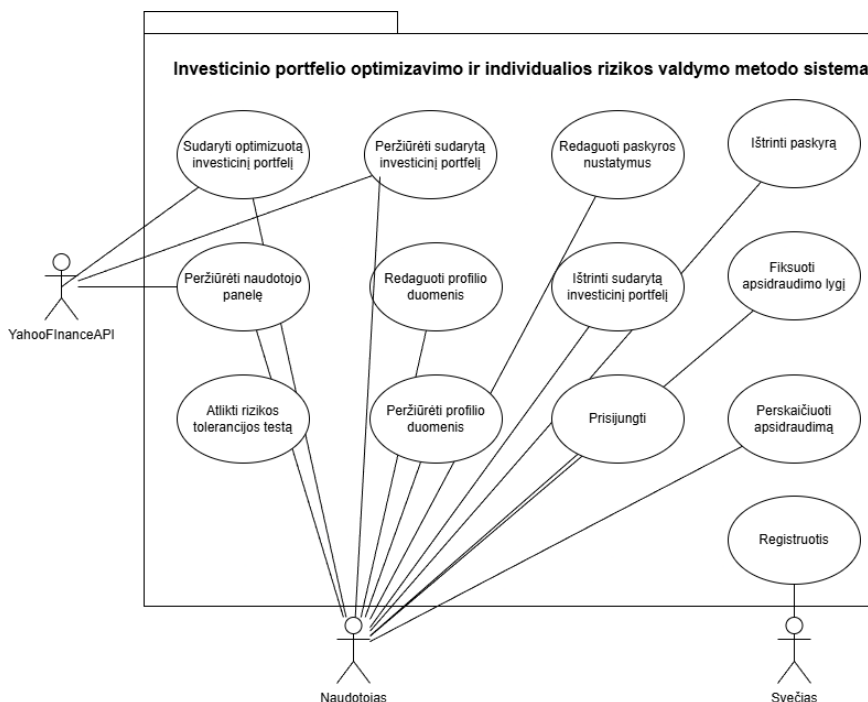
- Svečias – gali registruotis, po registracijos tampa naudotoju.
- Naudotojas – vykdo visą sistemos funkcionalumą: prisijungia, valdo profilio duomenis ir paskyros nustatymus, atlieka funkcijas susijusias su investicinio portfelio optimizavimu ir jo valdymu.
- YahooFinanceAPI – išorinė duomenų paslauga, iš kurios sistema gauna istorinių kainų informaciją optimizavimo skaičiavimams ir suvestinių atvaizdavimui. Ši paslauga yra prieinama per API sąsają.

Pagrindiniai panaudojimo atvejai:

1. Paskyra ir profilis – prisijungimas, profilio peržiūra ir redagavimas, paskyros nustatymų keitimas, paskyros ištrynimasis.
2. Rizikos profilis – rizikos tolerancijos testo atlikimas, kuomet pagal testo balą priskiriama K1–K3 klasė, kuri naudojama vėlesniuose optimizavimo veiksmuose.
3. Portfelio formavimas ir priežiūra – sudaryti optimizuotą investicinį portfelį (pagal CVaR ir taikomus apribojimus, naudojant „YahooFinanceAPI“ duomenis), peržiūrėti sudarytą portfelį, prireikus ištrinti jį.
4. Naudotojo panelė – suvestinė, kurioje pateikiama bendra informacija apie visus investicinius portfelius.

Išimtys ir sauga:

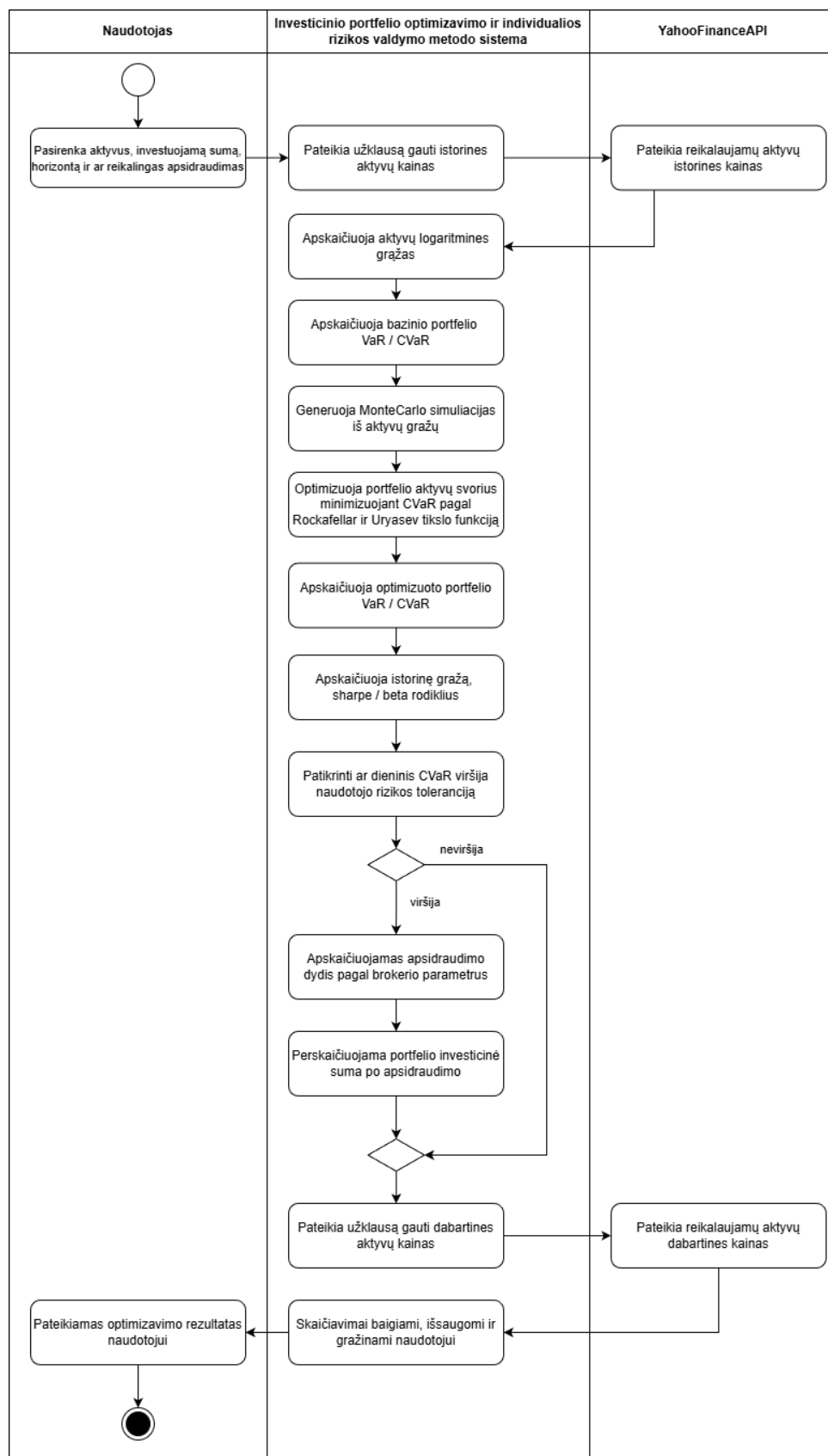
- Naudotojui užsiregistravus privaloma atlikti rizikos tolerancijos testą.
- Jei nepavyksta gauti pakankamų istorinių duomenų, sistema pateikia informacinį pranešimą ir siūlo koreguoti aktyvų sąrašą ar laikotarpį.
- Paskyros ir portfelių trynimo veiksmai patvirtinami papildomų užklausų, kad būtų išvengta netyčinių praradimų.
- Naudotojas turi prieigą tik prie savo profilio ir portfelių įrašų.



Šaltinis: sudaryta autoriaus.

1 pav. Sistemos panaudojimo atvejų diagrama

Panaudojimo atvejo „Sudaryti optimizuotą portfelį“ scenarijus yra pateikiamas 2 paveikslėlyje. Pateiktoje diagramoje naudotojas pirmiausia suformuoja skaičiavimo užduotį: pasirenka investicinius aktyvus, investuojamą sumą, pageidaujamą investavimo horizontą ir nurodo, ar reikalingas apsidraudimas. Sistema, gavusi užklausą, inicijuoja duomenų parengimą – per „YahooFinanceAPI“ užklausia pasirinktų aktyvų istorines kainas, jas normalizuoja ir iš jų apskaičiuoja dienes logaritmines grąžas, tuomet įvertina bazinio portfelio VaR ir CVaR rodiklius. Remiantis istorinėmis grąžomis sugeneruojamos Monte Karlo simuliacijos ir vykdomas portfelio svorių optimizavimas minimizuojant CVaR pagal Rockafellar ir Uryasev suformuluotą tikslo funkciją, laikantis nustatytų svorių ir kitų apribojimų. Po optimizavimo perskaičiuojami portfelio VaR/CVaR ir pagal istorinius duomenis pateikiami rodikliai (grąža, Sharpe, Beta). Toliau sistema patikrina, ar dienis CVaR atitinka naudotojo rizikos toleranciją: jei riba neviršyta, skaičiavimai tęsiasi į rezultatų suvestinę; jei riba viršyta, apskaičiuojamas apsidraudimo dydis pagal naudotojo brokerio parametrus (sverto dydį), perskaičiuojama investicinė suma po apsidraudimo ir gaunamos dabartinės aktyvų kainos, kad būtų tiksliai išsaugoma portfelio būseną. Baigus visus veiksmus, rezultatas – optimizuotos alokacijos, rizikos ir grąžos metrikos bei, jei taikyta, apsidraudimo rekomendacijos. Visa tai išsaugoma duomenų bazėje ir grąžinama naudotojui.

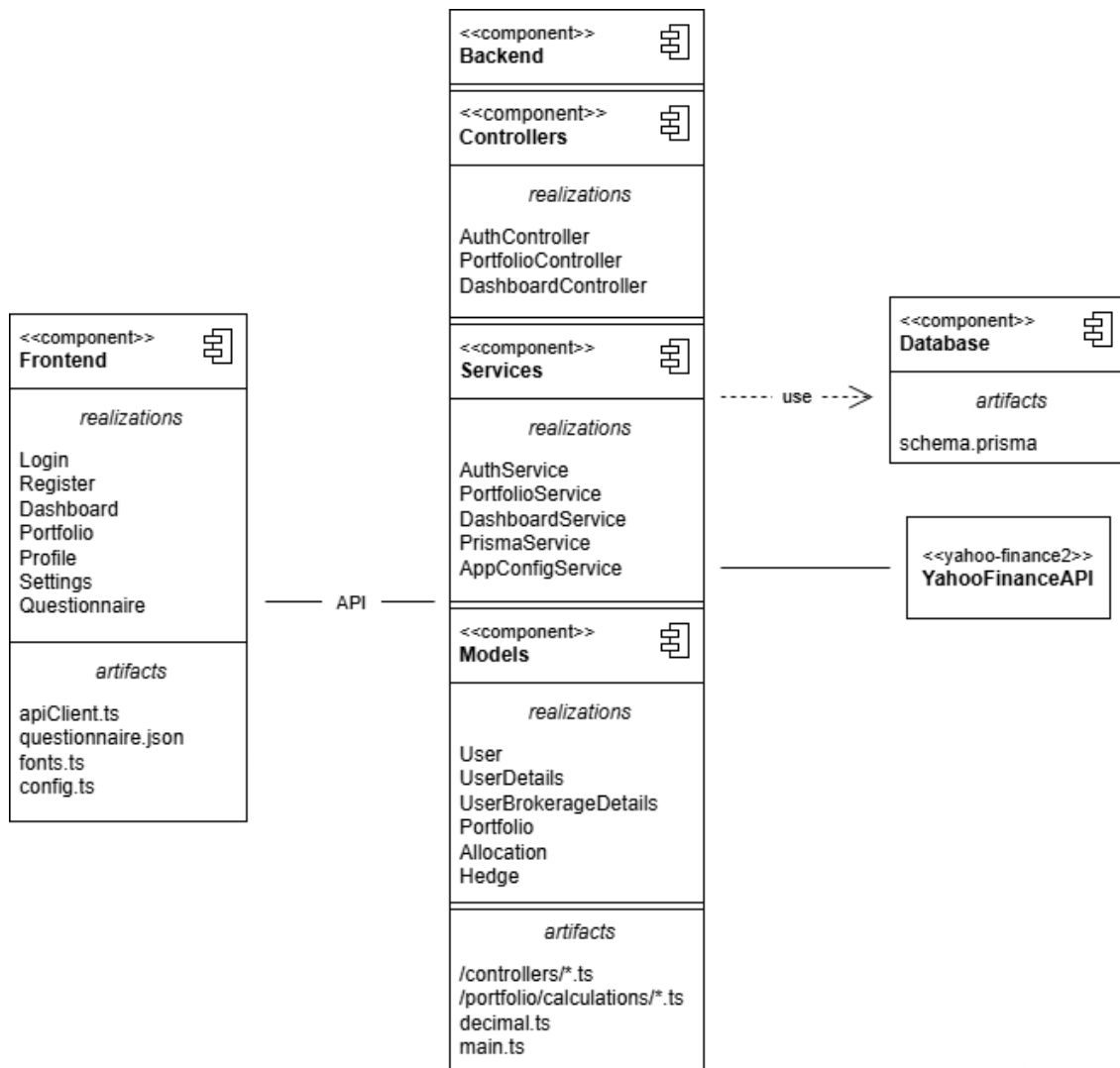


Šaltinis: sudaryta autoriaus.

2 pav. Panaudojimo atvejo „Sudaryti optimizuotą portfelį“ scenarijus

3.1.2. Architektūra ir komponentai

Sistema įgyvendinta trijų sluoksnių MVC architektūros principu, užtikrinant aiškų atsakomybių paskirstymą. „Frontend“ komponentas pateikia naudotojo sąsają ir per REST API komunikuoja su serveriu. „Backend“ komponentas realizuoja verslo logiką, kur apdorojamos užklauskos, paruošiami duomenys, generuojami Monte Karlo scenarijai, vykdomas CVaR pagrįstas optimizavimas su svorių apribojimais, tikrinamos rizikos klasių ribos ir prireikūs skaičiuojamas delta pagrįstas hedžingas. „Database“ komponentas saugo naudotojų ir profilio įrašus, rizikos testo atsakymus, pasirinktų aktyvų sąrašus, taip pat optimizavimo bei hedžingo rezultatus. Išoriniai duomenys gaunami per „YahooFinanceAPI“, o komponentų sąveika vykdoma standartizuotais REST galiniais taškais. Komponentų ryšiai pateikiami 3 paveikslėlyje.



Šaltinis: sudaryta autoriaus.

3 pav. Sistemos komponentų diagrama

3.1.3. Realizacijai keliami reikalavimai

Žemiau pateikiami realizuotos sistemos nefunkciniai reikalavimai. Formuliuotės pritaikytos dabartinei architektūrai („Next.js“, „NestJS“, „MySQL“, „YahooFinanceAPI“).

1. Realizacijos reikalavimai

- 1.1. Duomenų validacija atliekama tiek naudotojo sąsajoje, tiek serverio pusėje.
- 1.2. Išorinių sistemų („YahooFinanceAPI“) gedimų atveju turi būti įgyvendintas pakartotinių bandymų mechanizmas.
- 1.3. Konfigūracijos (API raktai, duomenų bazės prisijungimai) laikomos aplinkos kintamuosiuose. Versijų kontrolėje jos nesaugomos.

2. Saugumo reikalavimai

- 2.1. Visi „Backend“ API (išskyrus autentifikaciją) pasiekiami tik autorizuotiems naudotojams.
- 2.2. Duomenų perdavimas vykdomas tik per HTTPS.
- 2.3. Autentifikacijai naudojami JWT žetonai saugomi HttpOnly, Secure, SameSite slapukuose; CSRF apsauga aktyvuota.

3. Veikimo sąlygų reikalavimai

- 3.1. Naudojama „Git“ versijų kontrolė.
- 3.2. Optimizavimo užklausos apdorojimo tikslas – iki 30s esant iki 20 aktyvų ir 10000 scenarijų.

4. Kalbos ir kultūriniai reikalavimai

- 4.1. Naudotojo sąsaja lietuvių kalba.

5. Išvaizdos ir UX reikalavimai

- 5.1. Visuose languose matoma šoninė navigacijos juosta ir viršutinė antraštė.
- 5.2. Šviesi spalvų paletė.
- 5.3. Sąsaja adaptyvi (angl. *responsive*).
- 5.4. Kritinės operacijos (portfelio ar paskyros trynimasis) reikalauja papildomo patvirtinimo dialogo.

3.1.4. Sistemos prototipas

Šiame poskyryje pateikiamos sukurtos sistemos pagrindinės ekrano iškarpos, iliustruojančios, kaip praktikoje realizuotos modelio funkcijos: CVaR pagrįstas portfelio optimizavimas, rizikos klasėms (K1–K3) taikomi apribojimai ir hedžingo rekomendacijos. Prototipas leidžia nuosekliai pademonstruoti

visą naudotojo kelią – nuo autentifikavimo ir rizikos tolerancijos nustatymo iki portfelio sudarymo, rezultatų suvestinės ir įrašų valdymo. Ekranų iškarpos pateikiamos siekiant parodyti sąsajos logiką ir duomenų pateikimo struktūrą.

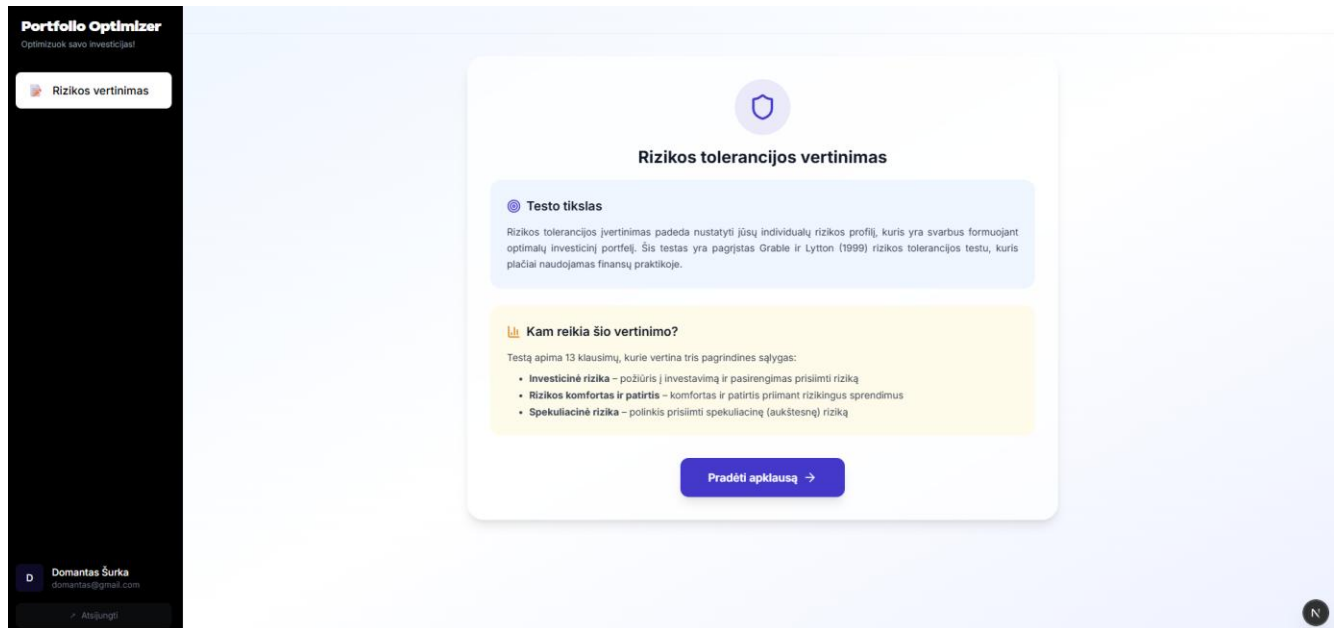
4 paveikslėlyje pateikiamas registracijos langas. Ekране pateikiamas pradinis sistemos langas su dviem sritimis: kairėje – paslaugos pristatymas (pagrindinės funkcijos: portfelio optimizavimas, rizikos valdymas, rodiklių stebėjimas), dešinėje – registracijos forma. Forma apima privalomus laukus „Vardas ir pavardė“, „El. pašto adresas“ ir „Slaptažodis“, o įvedami duomenys validuojami kliento ir serverio pusėje. Klaidų atvejais rodoma aiški grįžtamoji informacija. Sėkmingai užsiregistravus sukuriamas naudotojo paskyra ir inicijuojamas autentifikavimas, o prisiregistravę naudotojai gali rinktis nuorodą „Prisijungti“. Duomenų perdavimas vykdomas per HTTPS, taikomi CSRF ir JWT mechanizmai saugiam sesijos valdymui.

Šaltinis: sudaryta autoriaus, atlikus ekranų iškarpa iš realizuotos IS.

4 pav. Sistemos registracijos langas

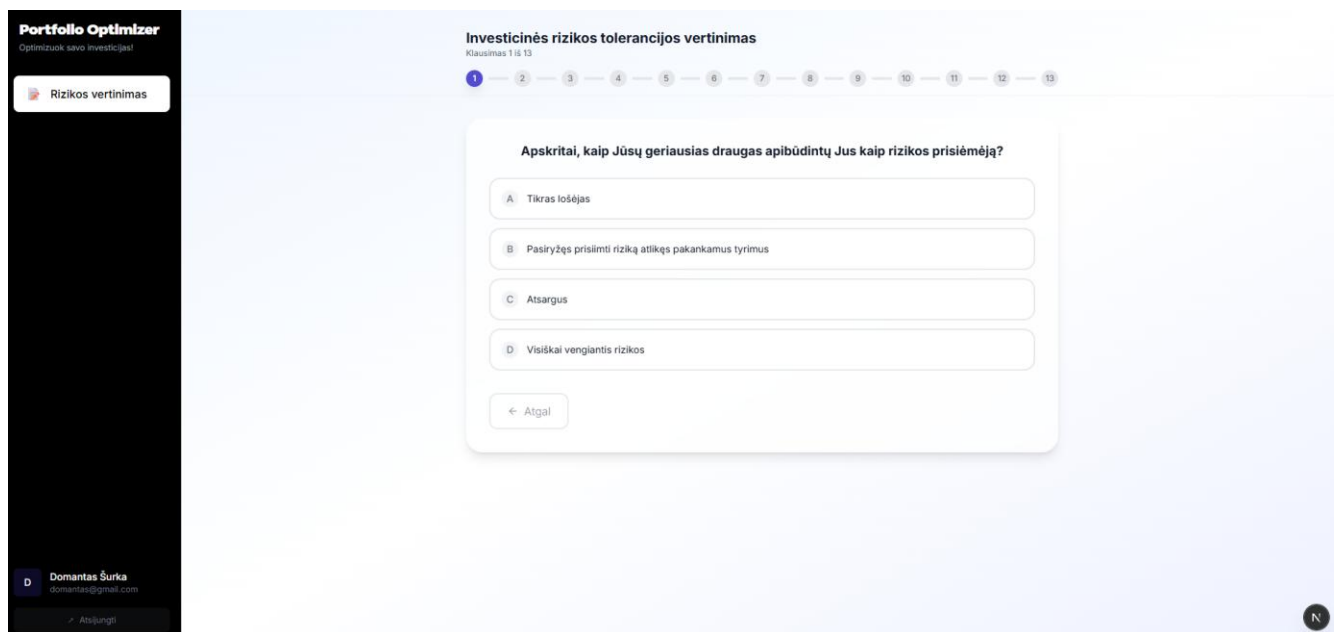
Rizikos tolerancijos sąsaja (žr. 5–7 pav.) pateikiama kaip nuoseklus trijų etapų vedlys. Pradiniame lange aiškiai suformuluojamas testo tikslas ir taikymo logika bei siūlomas veiksmų mygtukas „Pradėti apklausą“ (5 pav.). Toliau rodoma 13 klausimų anketinė forma su pažangos indikatoriumi ir vieno pasirinkimo atsakymais, užtikrinant galimybę grįžti prie ankstesnio klausimo (6 pav.), o pabaigoje automatiškai sugeneruojama suvestinė su priskirta rizikos klase (K1 – maža, K2 – vidutinė, K3 – didelė) ir trumpu kiekvienos klasės apibūdinimu (7 pav.). Šio testo rezultatas išsaugomas naudotojo profilyje ir

vėliau naudojamas kaip formalus apribojimas portfelio optimizavime, todėl sąsajoje akcentuojamas patvirtinimas ir perėjimas į tolesnį sistemos naudojimą.



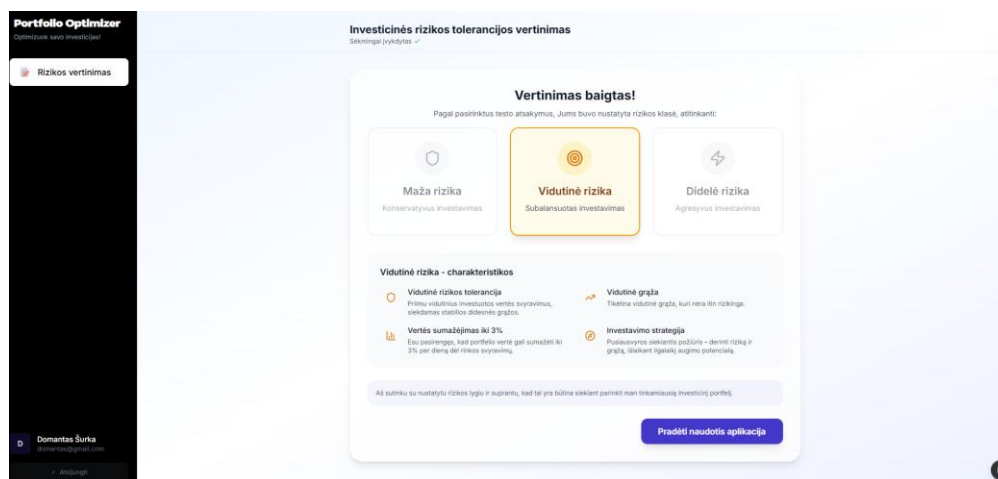
Šaltinis: sudaryta autoriaus, atlikus ekrano iškarpą iš realizuotos IS.

5 pav. Sistemos rizikos tolerancijos testo pradžios ekranas



Šaltinis: sudaryta autoriaus, atlikus ekrano iškarpą iš realizuotos IS.

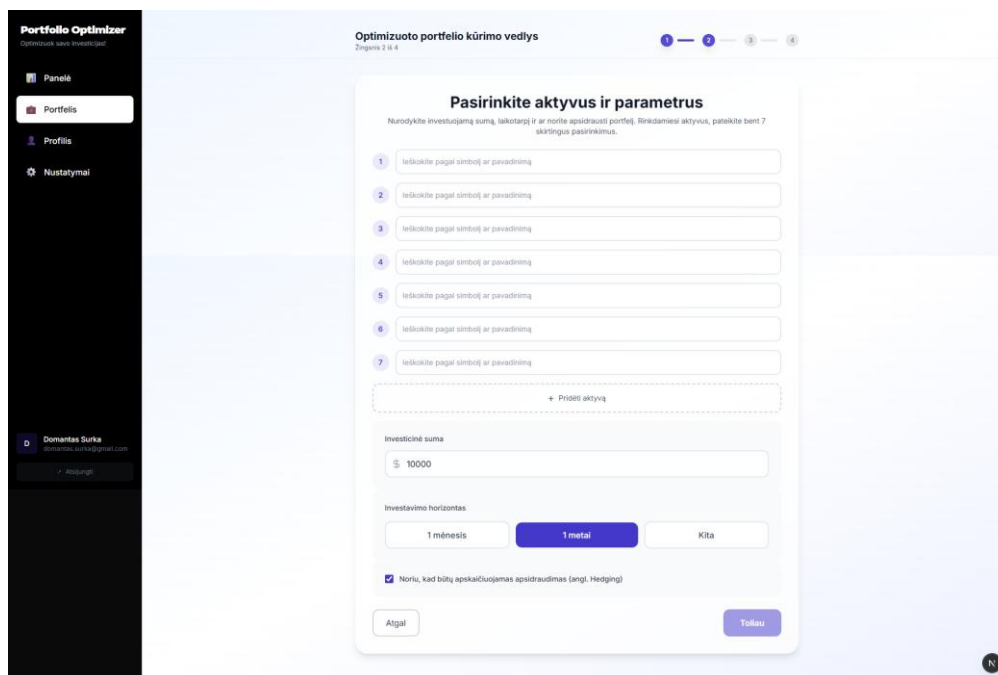
6 pav. Sistemos rizikos tolerancijos testo klausimynas



Šaltinis: sudaryta autoriaus, atlikus ekrano iškarpą iš realizuotos IS.

7 pav. Sistemos rizikos tolerancijos testo vertinimas

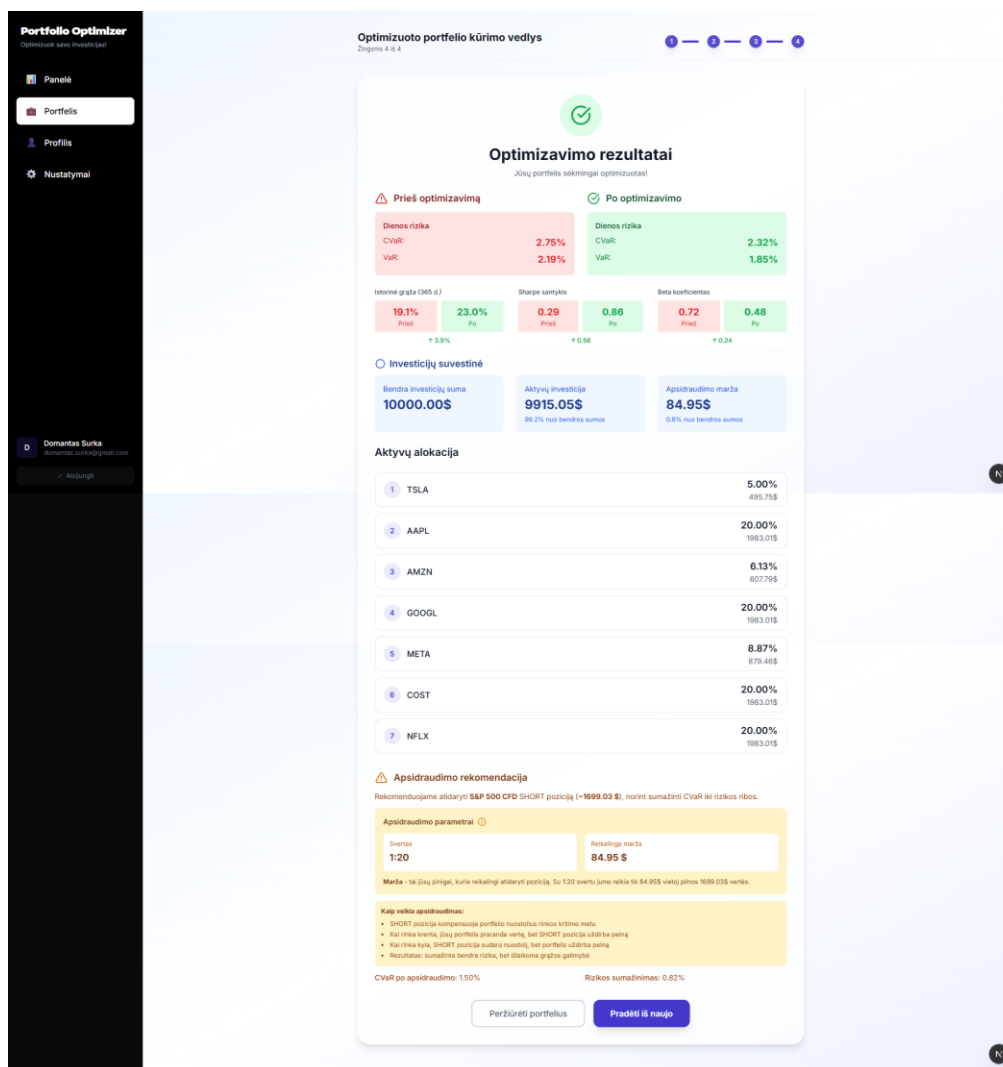
Portfelio optimizavimo vedlys pateikiamas 8 paveikslėlyje. Šiame ekrane naudotojas suformuoja duomenis optimizavimui: viršuje pateiktas žingsnių indikatorius, centre – aktyvų parinktis su paieška/įvedimu ir pažymėjimu sąrašas (aktyvus galima pridėti, pakeisti ar pašalinti). Žemiau nurodoma investuojama suma ir pasirenkamas investavimo horizontas (pvz., 1 mėn., 1 metai) arba įvedamas laikotarpis individualiai. Papildomu jungikliu galima įgalinti apsidraudimo įvertinimą, kad sistema, viršijus CVaR ribą, apskaičiuotų rekomenduojamą hedžingą. Visi laukai validuojami realiuoju laiku, paspaudus „Toliau“ duomenys perduodami skaičiavimui, o „Atgal“ grąžina į ankstesnį žingsnį.



Šaltinis: sudaryta autoriaus, atlikus ekrano iškarpą iš realizuotos IS.

8 pav. Sistemos portfelio optimizavimo vedlio pagrindinis langas

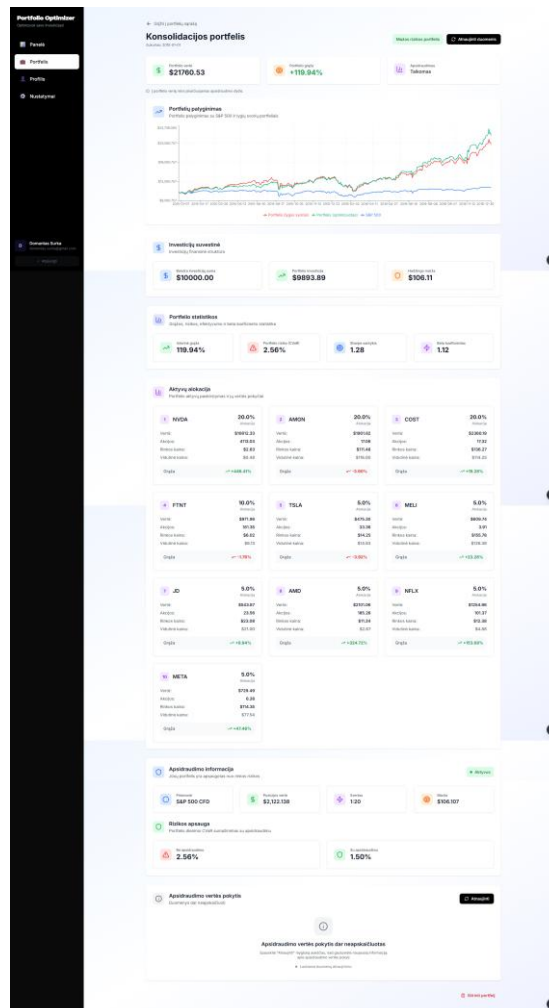
Portfelio optimizavimo rezultatų langas pateikiamas 9 paveikslėlyje. Šiame ekrane pateikiama visa po skaičiavimų gauta suvestinė: viršuje lyginami rizikos rodikliai prieš ir po optimizavimo (dieninis VaR/CVaR), leidžiant įvertinti metodikos poveikį portfelio kraštutinių nuostolių rizikai. Žemiau rodoma našumo santrauka – metinė grąža, Sharpe ir Beta rodikliai – bei investicijų suvestinė, kur aiškiai atskiriama bendra investicijų suma, aktyvų investicija ir rezervinė hedžingo marža. „Aktyvų alokacija“ skiltyje pateikiami optimizuoti svoriai, kurie atitinka nustatytus svorių apribojimus (5% – 20%) ir užtikrina diversifikaciją. Kadangi naudotojo rizikos klasės riba viršyta, šiuo atveju apskaičiuota apsidraudimo rekomendacija: nurodomas siūlomas S&P 500 CFD „short“ pozicijos dydis, svertas ir reikalinga marža, papildomai paaiškinamos prielaidos bei rizikos. Apačioje parodomas CVaR po hedžingo ir apskaičiuotas rizikos sumažėjimas. Veiksmų juosta leidžia peržiūrėti portfelį detaliau arba pradėti naują skaičiavimą.



Šaltinis: sudaryta autoriaus, atlikus ekrano iškarpą iš realizuotos IS.

9 pav. Sistemos optimizuoto portfelio rezultatų langas

Optimizuoto portfelio langas pateikiamas 10 paveikslėlyje. Ekrane pateikiama išsami konkretaus portfelio suvestinė. Viršuje rodoma bendroji statistika ir rizikos žyma „Mažo rizikos portfelis“, taip pat numatytas duomenų atnaujinimo veiksmas. Portfelį palyginimas, kuriame pateikiamas S&P 500 indeksas, bazinis portfelis su vienodais aktyvų svoriais ir optimizuotas portfelis. Toliau matoma investicijų suvestinė ir pagrindiniai rizikos bei grąžos rodikliai – dieninis CVaR, istorinė metinė grąža, Sharpe bei Beta koeficientai. Skiltyje „Aktyvų alokacija“ kiekvienas aktyvas pateikiamas atskiroje kortelėje su svoriu, verte, vienetų skaičiumi ir rinkos kaina, todėl aiškiai matomas portfelio išskaidymas ir atskirų pozicijų įtaka bendrai būklei. Apačioje pateikiama apsidraudimo informacija, kurioje nurodytas naudojamas instrumentas S&P 500 CFD, pozicijos vertė, taikomas svertas, reikalinga marža ir apskaičiuotas rizikos sumažėjimas po apsidraudimo, taip pat rodoma maržos ir pozicijos vertės dinamika. Ši suvestinė leidžia sekti portfelio progresą ir greitai įvertinti portfelio struktūrą, rizikos lygį ir apsidraudimo poveikį.



Šaltinis: sudaryta autoriaus, atlikus ekrano iškarpą iš realizuotos IS.

10 pav. Sistemos optimizuoto portfelio peržiūros langas

Apibendrinant, modelio veikimo logika ir sistemos prototipas parodė, kaip rizikos tolerancijos įvertinimas, CVaR pagrįstas portfelio optimizavimas ir apsidraudimo rekomendacijos sujungiami į vientisą sprendimų seką nuo naudotojo registracijos iki galutinių rezultatų suvestinės. Panaudojimo atvejai ir architektūros sprendiniai užtikrina aiškų funkcijų paskirstymą tarp naudotojo sąsajos, verslo logikos ir duomenų bazės sluoksnių, o nefunkciniai reikalavimai apibrėžia saugos, našumo, konfigūravimo ir naudotojo patirties aspektus.

Sekančiame skyriuje pereinama nuo loginės ir techninės modelio struktūros prie empirinio tyrimo pagrindo, detaliai aprašant naudojamus duomenis ir jų paruošimo etapus. Čia pagrindinis dėmesys skiriamas istorinių kainų šaltiniui, logaritminių grąžų skaičiavimui, analizės lango parinkimui, diversifikacijos, svorių apribojimams bei Monte Karlo scenarijų formavimui.

3.2. Naudoti empiriniai duomenys ir jų paruošimas

Empiriniam tyrimui taikomi dieniniai JAV vertybinių popierių „adjusted close“ kainų duomenys, gauti iš patikimo šaltinio – „Yahoo Finance“. Šis šaltinis pasirinktas dėl plačios finansinių instrumentų aprėpties, pakankamo duomenų patikimumo ir patogios integracijos su tyrimu naudojama programine aplinka. Duomenys atnaujinami iki paskutinės uždarytos prekybinės dienos.

Analizės langas siejamas su investavimo horizontu h . Empiriniame tyrimo kiekvienam portfeliui nustatomas 730 kalendorinių dienų investavimo horizontas, kuris apytiksliai atitinka dvejų metų investavimo trukmę, taikomą trims portfelio formavimo datoms, kaip numatyta 2.2 skyriuje. Kainų sekos transformuojamos į dienes logaritmines grąžas. Ekstremalios grąžų reikšmės (angl. *outliers*) neeliminuojamos, kadangi jų pašalinimas dirbtinai sumažintų uodegų riziką ir neatspindėtų realios rinkos dinamikos, kuri yra esminė CVaR metodikos prielaida.

Empirinio testavimo tikslams suformuojamas vienas bendras akcijų sąrašas, užtikrinantis tarpsektorinę diversifikaciją ir apimantis pagrindinius ekonomikos sektorius. Šis finansinių aktyvų rinkinys taikomas visiems tyrimo etapams: portfeliams, sudaromiems skirtingomis rinkos ciklo fazėmis, taip pat vertinant optimizuoto portfelio pritaikymą skirtingoms investuotojų rizikos tolerancijos klasėms. Toks metodas leidžia nuosekliai palyginti optimizavimo rezultatus skirtingomis sąlygomis.

Portfeliams keliama tokie apribojimai: aktyvų skaičius turi būti tarp 7 ir 20, kiekvieno aktyvo svoris ω_i apriojamas intervalu $[0,05; 0,20]$, o bendra svorių suma tenkina sąlygą $\sum_i \omega_i = 1$, taip užtikrinant pilnai investuotą portfelį. Šie apribojimai taikomi visiems optimizavimo uždaviniams, sprendžiamiems skirtingomis portfelio sudarymo datomis, ir užtikrina pakankamą diversifikaciją bei

riboja pernelyg didelę koncentraciją į atskirus aktyvus. Konkrečių tyrime naudotų 10 aktyvų sąrašas ir jų sektoriai pateikiami 5 lentelėje.

5 lentelė

Finansinių aktyvų rinkinys

Nr.	Aktyvo simbolis	Įmonė	Sektorius
1	TSLA	Tesla, Inc.	Pasirenkamojo vartojimo prekės ir paslaugos
2	MELI	MercadoLibre, Inc.	Pasirenkamojo vartojimo prekės ir paslaugos
3	JD	JD.com, Inc.	Pasirenkamojo vartojimo prekės ir paslaugos
4	NVDA	NVIDIA Corporation	Informacinės technologijos
5	AMD	Advanced Micro Devices, Inc.	Informacinės technologijos
6	FTNT	Fortinet, Inc.	Informacinės technologijos
7	NFLX	Netflix, Inc.	Komunikacijų paslaugos
8	META	Meta Platforms, Inc.	Komunikacijų paslaugos
9	AMGN	Amgen Inc.	Sveikatos priežiūra
10	COST	Costco Wholesale Corporation	Būtinąjo vartojimo prekės ir paslaugos

Šaltinis: sudaryta autoriaus.

Tolimesniems skaičiavimams parengtos grąžų sekos naudojamos optimizavimo uždaviniui suformuoti. Šie duomenys naudojami dviem pagrindiniais tikslais. Pirmiausia, kiekvienai portfelio sudarymo datai atrenkamas atitinkamas 730 kalendorinių dienų istorinis langas, kuriuo remiantis Monte Carlo metodu sugeneruojamos dieninių grąžų simuliacijos, naudojamos optimaliems portfelio svoriams nustatyti pagal CVaR minimizavimo kriterijų (žr. 2.1.6. poskyrį).

Antra, sugeneravus optimizuotą portfelį, faktiniai portfelio rezultatų duomenys naudojami empiriniam įvertinimui. Tolesnių 730 kalendorinių dienų faktinės pasirinktų aktyvų kainos konvertuojamos į dienes logaritmines grąžas ir, taikant optimizuotus svorius, apskaičiuojamos realizuotos portfelio grąžos per vertinimo horizontą. Pagal jas apskaičiuojami pagrindiniai rodikliai: realizuota 730 kalendorinių dienų portfelio grąža, dienos VaR ir CVaR, Sharpe rodiklis, beta koeficientas ir kiti 2.2 skyriuje numatyti vertinimo kriterijai. Tokia metodinė seka leidžia įvertinti optimizuoto portfelio efektyvumą pagal realias rinkos sąlygas.

Modelio personalizavimui reikalingi papildomi duomenys apie investuotojo rizikos toleranciją. Empiriniame tyrime daroma prielaida, kad pradinę investicijų sumą sudaro 10000\$. Tyrime naudojamos trys rizikos tolerancijos klasės (K1 – žema, K2 – vidutinė, K3 – aukšta), kurioms priskiriamos atitinkamos dienos CVaR ribos: K1 klasei – ne daugiau kaip 1,5%, K2 – ne daugiau kaip 3,0%, K3 – ne daugiau kaip 5,0%.

Apibendrinant, šiame poskyryje aprašyti empiriniai duomenys ir jų paruošimo veiksmai sudaro nuoseklų metodologinį pagrindą portfelio optimizavimui ir rizikos vertinimui. Atskirų žingsnių – istorinių kainų surinkimo, logaritminių grąžų skaičiavimo, diversifikacijos, svorių apribojimų taikymo bei Monte Carlo scenarijų generavimo – visuma užtikrina, kad modelio skaičiavimai būtų atliekami statistiškai pagrįstų duomenų pagrindu.

Sekančiame skyriuje remiamasi parengtais duomenimis ir optimizavimo etape gautais rezultatais, siekiant empiriškai įvertinti optimizuoto portfelio veikimą realiomis rinkos sąlygomis. Šioje tyrimo dalyje analizuojami CVaR minimizavimo pagrindu suformuotų portfelių rezultatai, lyginant optimizuotą su baziniu portfeliu pagal realizuotas 730 kalendorinių dienų grąžas ir rizikos rodiklius, taip pat vertinamas modelio pritaikomumas skirtingoms investuotojų rizikos tolerancijos klasėms ir su tuo susijęs apsidraudimo poreikis.

3.3. Modelio taikymo rezultatai ir vertinimas

Atlikto empirinio tyrimo gauti rezultatai leidžia įvertinti CVaR pagrindu optimizuoto portfelio efektyvumą, palyginti jį su bazine lygių svorių strategija trijose skirtingose rinkos ciklo fazėse, taip pat įvertinti rizikos tolerancijos klasių įtaką apsidraudimo intensyvumui ir portfelio rizikai. Vertinimas atliekamas dviem lygmenimis:

1. optimizuoto portfelio įvertinimas ir palyginimas su baziniu portfeliu rinkos konsolidacijos, augimo ir kritimo laikotarpiais,
2. optimizuoto portfelio pritaikymas rizikos tolerancijos klasėms, analizuojant apsidraudimo poveikį.

3.3.1. Optimizuoto portfelio įvertinimas ir palyginimas su baziniu portfeliu

Optimizuoto portfelio veiksmingumas vertinamas lyginant jį su bazine, lygių svorių strategija, sudaryta iš tų pačių finansinių aktyvų. Toks palyginimas leidžia nustatyti, ar CVaR minimizavimo principu suformuotas portfelis pagerina grąžos ir rizikos santykį bei sumažina nuostolių uodegų riziką investuotojui reikšmingu 730 kalendorinių dienų horizonte. Be to, kadangi optimizavimas atliekamas

trijose skirtingose rinkos ciklo fazėse – konsolidacijos laikotarpiu, augimo laikotarpiu, kritimo laikotarpiu – galima įvertinti, kaip CVaR metodas veikia kintančiomis rinkos sąlygomis ir ar sprendinių struktūra išlieka stabili.

Įvykdžius optimizavimo procedūrą, sukurtoje sistemoje gauti optimizuoto portfelio svoriai pateikiami 6, 7 ir 8 lentelėse. Matomas būdingas aiškus modelio polinkis formuoti struktūrą, kurioje keli aktyvai priartėja prie didžiausių leistinių svorių (20%), o likę aktyvai gauna minimalius (5%) svorius. Tai atitinka CVaR minimizavimo modelio su apribojimais sprendinių pobūdį, kai optimalus sprendinys dažnai randamas leistinių reikšmių srities kraštiniuose taškuose – modelis didžiausius svorius priskiria aktyvams, kurie labiausiai prisideda prie uodegos rizikos mažinimo, o mažesni svoriai suteikiami diversifikaciją užtikrinantiems aktyvams.

Rinkos augimo laikotarpiu optimizavimo algoritmas didžiausius svorius priskiria AMGN ir COST, po 20%, o reikšmingą portfelio dalį sudaro ir kiek mažesnę svorį turintys FTNT ir JD. Likę aktyvai gauna po 5%, atlikdami riziką mažinančią diversifikacinę funkciją. Tuo tarpu konsolidacijos fazėje modelis didžiausią portfelio dalį taip pat skiria trejoms didžiausio svorio pozicijoms (NVDA, AMGN, COST), kurios kartu sudaro portfelio pagrindą, o likę aktyvai išdėstomi minimaliais svoriais. Rinkos kritimo fazėje portfelyje išlaikomi maksimalūs 20% svoriai AMGN ir COST, o kaip trečia pagrindinė pozicija išryškėja NFLX (17,88% vietoje 5% augimo ir konsolidacijos fazėse). Tuo pačiu FTNT ir NVDA sumažinami iki minimalaus 5%, o JD ir META paliekami vidutiniais svoriais (~8–9%), likusius aktyvus laikant po 5% diversifikacijai.

6 lentelė

Optimizuoto portfelio aktyvų svoriai (rinkos augimo fazė)

Nr.	Aktyvo simbolis	Įmonė	Svoris portfelyje
1	TSLA	Tesla, Inc.	5,00%
2	MELI	MercadoLibre, Inc.	5,00%
3	JD	JD.com, Inc.	11,52%
4	NVDA	NVIDIA Corporation	5,00%
5	AMD	Advanced Micro Devices, Inc.	5,00%
6	FTNT	Fortinet, Inc.	15,02%
7	NFLX	Netflix, Inc.	5,00%
8	META	Meta Platforms, Inc.	8,46%

Nr.	Aktyvo simbolis	Įmonė	Svoris portfelyje
9	AMGN	Amgen Inc.	20,00%
10	COST	Costco Wholesale Corporation	20,00%

Šaltinis: sudaryta autoriaus, pagal gautus sistemos modelio rezultatus.

7 lentelė

Optimizuoto portfelio aktyvų svoriai (rinkos konsolidacijos fazė)

Nr.	Aktyvo simbolis	Įmonė	Svoris portfelyje
1	TSLA	Tesla, Inc.	5,00%
2	MELI	MercadoLibre, Inc.	5,00%
3	JD	JD.com, Inc.	5,00%
4	NVDA	NVIDIA Corporation	20,00%
5	AMD	Advanced Micro Devices, Inc.	5,00%
6	FTNT	Fortinet, Inc.	10,00%
7	NFLX	Netflix, Inc.	5,00%
8	META	Meta Platforms, Inc.	5,00%
9	AMGN	Amgen Inc.	20,00%
10	COST	Costco Wholesale Corporation	20,00%

Šaltinis: sudaryta autoriaus, pagal gautus sistemos modelio rezultatus.

8 lentelė

Optimizuoto portfelio aktyvų svoriai (rinkos kritimo fazė)

Nr.	Aktyvo simbolis	Įmonė	Svoris portfelyje
1	TSLA	Tesla, Inc.	5,00%
2	MELI	MercadoLibre, Inc.	5,00%
3	JD	JD.com, Inc.	8,67%
4	NVDA	NVIDIA Corporation	5,00%
5	AMD	Advanced Micro Devices, Inc.	5,00%
6	FTNT	Fortinet, Inc.	5,00%
7	NFLX	Netflix, Inc.	17,88%
8	META	Meta Platforms, Inc.	8,45%

Nr.	Aktyvo simbolis	Įmonė	Svoris portfelyje
9	AMGN	Amgen Inc.	20,00%
10	COST	Costco Wholesale Corporation	20,00%

Šaltinis: sudaryta autoriaus, pagal gautus sistemos modelio rezultatus.

Gauti portfelio, sudaryto rinkos augimo fazėje, rezultatai pateikiami 9 lentelėje. Rinkos augimo aplinkoje optimizuotas portfelis pasižymi žymiai mažesne uodegos rizika ir geresniu rizikos–grąžos santykiu nei bazinė lygių svorių strategija. Optimizuoto portfelio dienos CVaR sumažėja nuo 3,04% (baziniu atveju) iki 2,47%, taip išlaikant mažesnę galimo nuostolio tikimybę blogiausiuose rinkos scenarijuose. Sharpe rodiklis taip pat yra didesnis optimizuotame portfelyje (1,12) nei baziniame (1,07), o tai indikuoja efektyvesnę rizikos naudą generuojant perteklinę grąžą.

Nors bazinis portfelis augimo cikle sugeneravo didesnę grąžą, optimizuotas portfelis aiškiai sumažino ilgalaikę riziką ir pasižymėjo mažesne beta reikšme – 1,04 optimizuotame portfelyje lyginant su 1,31 baziniame. Tai rodo, kad optimizuotas portfelis yra mažiau jautrus bendriems rinkos svyravimams ir labiau orientuotas į apsaugą nuo nuostolių uodegose.

9 lentelė

Optimizuoto ir bazinio portfelių palyginimas rinkos augimo fazėje

Rodiklis	Optimizuotas portfelis	Bazinis portfelis
Realizuota grąža (730 d.)	88,09%	124,40%
Sharpe rodiklis	1,12	1,07
Beta koeficientas	1,04	1,31
Dienos VaR (95%)	1,97%	2,42%
Dienos CVaR (95%)	2,47%	3,04%

Šaltinis: sudaryta autoriaus, pagal gautus sistemos modelio rezultatus.

Gauti portfelio, sudaryto konsolidacijos fazėje, rezultatai pateikiami 10 lentelėje. Konsolidacijos aplinkoje CVaR optimizavimas leidžia suformuoti portfelį, kuris pasižymi tiek didesne realizuota grąža, tiek geresniu rizikos profiliu. Optimizuoto portfelio 730 kalendorinių dienų grąža siekia 58,34%, palyginti su 41,49% bazinei strategijai. Optimali svorių struktūra leidžia geriau išnaudoti rinkos neapibrėžtumą, ypač kai rinka juda horizontaliai ir aktyvų atranka tampa svarbesnė nei bendra rinkos kryptis.

Sharpe rodiklis optimizuotame portfelyje taip pat yra didesnis (1,28), o beta koeficientas – mažesnis (1,12), lyginant su bazinio portfelio beta (1,20). Tai rodo, kad optimizuotas portfelis generuoja didesnę perteklinę grąžą kiekvienam rizikos vienetui, kartu mažindamas jautrumą sisteminei rinkos rizikai. Svarbiausia, kad dienos CVaR sumažėja nuo 2,83% (bazinis portfelis) iki 2,56%, patvirtindamas, jog CVaR minimizavimas efektyviai mažina nuostolių uodegų riziką net ir mažo rinkos impulso laikotarpiu.

10 lentelė

Optimizuoto ir bazinio portfelių palyginimas rinkos konsolidacijos fazėje

Rodiklis	Optimizuotas portfelis	Bazinis portfelis
Realizuota grąža (730 d.)	58,34%	41,49%
Sharpe rodiklis	1,75	1,14
Beta koeficientas	1,20	1,32
Dienos VaR (95%)	2,37%	2,60%
Dienos CVaR (95%)	3,11%	3,38%

Šaltinis: sudaryta autoriaus, pagal gautus sistemos modelio rezultatus.

Gauti portfelio, sudaryto rinkos kritimo fazėje, rezultatai pateikiami 11 lentelėje. Šiuo atveju CVaR optimizavimas leidžia suformuoti portfelį, kuris išlaiko aiškiai geresnį rizikos profilį nei bazinė lygių svorių strategija. Optimizuoto portfelio 730 dienų grąža siekia 4,33%, palyginti su 0,57% baziniame portfelyje, o tai rodo, kad net ir nepalankioje rinkos dinamikoje optimali svorių struktūra padeda geriau išsaugoti kapitalą.

Svarbiausia, kad rizikos rodikliai nuosmukio fazėje reikšmingai gerėja: dienos CVaR – nuo 4,48% iki 3,72%, patvirtinant efektyvesnę nuostolių uodegų kontrolę blogiausiuose scenarijuose. Be to, optimizuoto portfelio beta koeficientas yra mažesnis (1,29) nei bazinio (1,57), todėl portfelis tampa mažiau jautrus bendriems rinkos svyravimams, kas kritimo fazėje yra ypač aktualu. Nors Sharpe rodikliai abiem atvejais yra neigiami, optimizuotas portfelis išlieka arčiau nulio, kas indikuoja mažesnę rizikos neefektyvumą ir geresnę rizikos–grąžos balansą lyginant su bazine strategija.

11 lentelė

Optimizuoto ir bazinio portfelių palyginimas rinkos kritimo fazėje

Rodiklis	Optimizuotas portfelis	Bazinis portfelis
Realizuota grąža (730 d.)	4,33%	0,57%

Rodiklis	Optimizuotas portfelis	Bazinis portfelis
Sharpe rodiklis	-0,03	-0,10
Beta koeficientas	1,29	1,57
Dienos VaR (95%)	2,97%	3,57%
Dienos CVaR (95%)	3,72%	4,48%

Šaltinis: sudaryta autoriaus, pagal gautus sistemos modelio rezultatus.

Visų trijų optimizuotų portfelių grafiniai palyginimai investicinio horizonto laikotarpiais yra pateikiami 4 priede. Krintančios rinkos fazėje matoma, kad optimizuotas portfelis didžiausią vertę išlaikė 406 dienas, o bazinis portfelis – 36 dienas. Didžiausias portfelių vertės atotrūkis užfiksuotas 2023-01-06 ir siekė 1018,00\$, arba 14,71% optimizuoto portfelio naudai. Augimo fazėje rezultatai buvo priešingi: bazinis portfelis didžiausią vertę turėjo 357 dienas, optimizuotas – 86 dienas, o didžiausias atotrūkis fiksuotas 2025-10-29, kuris sudarė 14,01% papildomos vertės bazinio portfelio naudai. Konsolidacinėje fazėje optimizuotas portfelis didžiausią vertę laikė 242 dienas, bazinis – 203 dienas. Didžiausias atotrūkis užfiksuotas 2016-12-27, kuriame optimizuotas portfelis įgijo pranašumą su 9,86% didesne portfelio verte. Tokiu būdu, vertinant portfelių vertės dinamiką, šiame tyrime optimizuotas portfelis turėjo pranašumą krintančioje ir konsolidacinėje rinkos fazėse, o augimo fazėje didesnę vertę ilgesnį laikotarpio dalį išlaikė bazinis portfelis.

3.3.2. Optimizuoto portfelio pritaikymas rizikos tolerancijos klasėms, analizuojant apsidraudimo poveikį

Antrajame vertinimo etape analizuojamas optimizuoto portfelio pritaikymas trimis rizikos tolerancijos klasėms (K1 – žema, K2 – vidutinė, K3 – aukšta tolerancija), įvertinant apsidraudimo dydį ir jo poveikį portfelio rizikos rodikliams skirtingose rinkos fazėse. Šiame tyrime rizikos tolerancijos klasės nėra įtraukiamos į optimizavimo etapą ir neturi įtakos aktyvų svoriams: portfelio sudėtis pirmiausia nustatoma pagal CVaR minimizavimo kriterijų, o rizikos klasių ribos taikomos tik antrame etape, koreguojant apsidraudimo intensyvumą. Taigi, personalizavimas vyksta ne keičiant pačią portfelio struktūrą, o valdant apsidraudimą S&P 500 indeksu grįstais CFD sandoriais.

Rinkos augimo fazėje (12 lentelė) optimizuotas portfelis pritaikomas rizikos tolerancijos klasėms pagal dienos CVaR ribas. Pradiniu optimizavimo momentu CVaR siekia 3,62%, todėl viršija K1 (1,5%) ir K2 (3,0%) ribas ir šioms klasėms taikomas apsidraudimas, kai K3 klasei jis nereikalingas, nes 5,0% riba nepasiekiamą. Taikant 1:20 CFD svertą, apsidraudimo intensyvumas išreiškiamas marža, kuri optimizavimo metu sudaro 372,63\$ K1 klasei ir 110,01\$ K2 klasei. Realizavimo metu, pasibaigus 730

dienų horizontui, CVaR sumažėja iki 2,47%, todėl K1 klasei reikalinga marža mažėja iki 202,60\$ (–45,63%), o K2 klasei apsidraudimas panaikinamas ir marža tampa lygi 0\$ (–100%), taip parodant, kad rizikai mažėjant apsidraudimo poreikis silpnėja. Testavimo laikotarpiu užfiksuoti 8 apsidraudimo bankrotai K1 klasėje ir 3 bankrotai K2 klasėje, o apsidraudimo grąža yra neigiama, atitinkamai –1462,31\$ ir –287,55\$. Todėl apsidraudimas sumažina riziką iki priimtinos investuotojui ribos, tačiau gali sudaryti nuostolį, kuris yra didesnis žemesnės rizikos tolerancijos klasės investuotojams.

12 lentelė

Apsidraudimo poreikis pagal rizikos klases – rinkos augimo fazė

Rodiklis	K1 (žema rizika)	K2 (vid. rizika)	K3 (aukšta rizika)
Dienos CVaR prieš apsidraudimą (optimizavimo metu)	3,62%		
Dienos CVaR prieš apsidraudimą (realizavimo metu)	2,47%		
CVaR rizikos klasės riba	1,5%	3,0%	5,0%
Apsidraudimo poreikis (marža optimizavimo metu)	372,63\$	110,01\$	–
Apsidraudimo poreikis (marža realizavimo metu)	202,60\$	0\$	–
Apsidraudimo pokytis realizavimo metu	–45,63%	–100%	–
Apsidraudimo bankrotų kiekis	8	3	–
Apsidraudimo grąža / nuostolis	-1462,31\$	-287,55\$	–

Šaltinis: sudaryta autoriaus, pagal gautus sistemos modelio rezultatus.

Konsolidacijos fazėje (13 lentelė) apsidraudimas pasižymi priešinga dinamika, nes horizonto gale rizika padidėja, todėl žemiausios rizikos tolerancijos klasei reikalingas didesnis apsidraudimas. Optimizavimo momentu dienos CVaR siekia 1,88%, todėl jis nežymiai viršija K1 klasės ribą (1,5%) ir yra mažesnis už K2 bei K3 klasių ribas, dėl to apsidraudimas taikomas tik K1 investuotojams. Taikant 1:20 CFD svertą, K1 klasei optimizavimo metu reikalinga marža sudaro 106,11\$. Realizavimo metu, pasibaigus 730 dienų periodui, dienos CVaR padidėja iki 2,56%, todėl K1 klasėje apsidraudimo poreikis sustiprėja, o K2 ir K3 klasėse jis išlieka nereikalingas, nes rizika neviršija atitinkamų ribų. Realizavimo metu reikalinga marža padidinama iki 233,24\$, kas atitinka +119,82% apsidraudimo pokytį. Testavimo laikotarpiu užfiksuotas 1 apsidraudimo bankrotas, o apsidraudimo grąža yra neigiama ir sudaro –276,79\$. Todėl apsidraudimas užtikrina rizikos ribos laikymąsi konservatyviausio investuotojo klasei, tačiau sukuria papildomus kaštus.

Apsidraudimo poreikis pagal rizikos klases – konsolidacijos fazė

Rodiklis	K1 (žema rizika)	K2 (vid. rizika)	K3 (aukšta rizika)
Dienos CVaR prieš apsidraudimą (optimizavimo metu)	1,88%		
Dienos CVaR prieš apsidraudimą (realizavimo metu)	2,56%		
CVaR rizikos klasės riba	1,5%	3,0%	5,0%
Apsidraudimo poreikis (marža optimizavimo metu)	106,11\$	–	–
Apsidraudimo poreikis (marža realizavimo metu)	233,24\$	–	–
Apsidraudimo pokytis realizavimo metu	+119,82%	–	–
Apsidraudimo bankrotų kiekis	1	–	–
Apsidraudimo grąža / nuostolis	-276,79\$	–	–

Šaltinis: sudaryta autoriaus, pagal gautus sistemos modelio rezultatus.

Rinkos kritimo fazėje (14 lentelė) apsidraudimo mechanizmas taikomas intensyviausiai, nes tiek optimizavimo momentu, tiek realizavimo laikotarpiu portfelio dienos CVaR išlieka aukštas ir padidėja nuo 3,58% iki 3,72%. Šios reikšmės viršija K1 (1,5%) ir K2 (3,0%) rizikos klasių ribas, todėl abiem klasėms apsidraudimas būtinas viso laikotarpio metu. Kadangi portfelio realizavimo metu rizika yra didesnė nei optimizavimo etape, modelis sustiprina apsaugą. Taikant 1:20 CFD svertą, proporcingai didėja ir maržos poreikis: K1 investuotojui nuo 252,33\$ iki 384,11\$, o K2 investuotojui nuo 71,28\$ iki 122,40\$. Testavimo laikotarpiu apsidraudimo bankrotų nefiksuota, o apsidraudimo grąža yra teigiama ir sudaro 24,73\$ K1 klasei bei 6,83\$ K2 klasei. Galima teigti, jog apsidraudimas ne tik sumažina CVaR iki nustatytų ribų, bet ir nagrinėjamu laikotarpiu nesudaro papildomų nuostolių.

Apsidraudimo poreikis pagal rizikos klases – kritimo fazė

Rodiklis	K1 (žema rizika)	K2 (vid. rizika)	K3 (aukšta rizika)
Dienos CVaR prieš apsidraudimą (optimizavimo metu)	3,58%		
Dienos CVaR prieš apsidraudimą (realizavimo metu)	3,72%		
CVaR rizikos klasės riba	1,5%	3,0%	5,0%
Apsidraudimo poreikis (marža optimizavimo metu)	252,33\$	71,28\$	–
Apsidraudimo poreikis (marža realizavimo metu)	384,11\$	122,40\$	–
Apsidraudimo pokytis realizavimo metu	+52,23%	+71,72%	–

Rodiklis	K1 (žema rizika)	K2 (vid. rizika)	K3 (aukšta rizika)
Apsidraudimo bankrotų kiekis	0	0	–
Apsidraudimo grąža / nuostolis	24,73\$	6,83\$	–

Šaltinis: sudaryta autoriaus, pagal gautus sistemos modelio rezultatus.

Visų optimizuotų portfelių vizuali sistemos informacija apie apsidraudimą, užfiksuota portfelio realizacijos metu, yra pateikiama 5 priede. Pateiktame priede yra užfiksuoti sistemos ekrano vaizdai su apsidraudimo informacija ir perskaičiavimu, kurį mato sistemos naudotojas. Verta paminėti, jog portfelyje, suformuotame rinkos augimo fazės laikotarpiu, vidutinės rizikos klasės investuotojui nurodyta, jog apsidraudimas tapo nebereikalingu (žr. 14 pav.).

3.3.3. Empirinio vertinimo apibendrinimas

Visais atvejais optimizuotas portfelis pasižymėjo mažesne uodegos rizika, kas atsispindėjo mažesnėmis dienos VaR ir CVaR reikšmėmis bei mažesniu jautrumu bendriems rinkos svyravimams, išreikštu žemesne beta reikšme. Augimo fazėje optimizuotas portfelis užtikrino reikšmingą rizikos sumažinimą, nors bazinis portfelis sugeneravo didesnę realizuotą grąžą. Konsolidacijos fazėje optimizuoto portfelio pranašumas buvo ryškiausias – jis ne tik sumažino uodegos riziką, bet ir viršijo bazinę strategiją pagal realizuotą grąžą ir rizikos–grąžos santykį. Kritimo fazėje abi strategijos pasižymėjo silpnėsiu rizikos–grąžos profiliu, tačiau optimizuotas portfelis išlaikė geresnius rezultatus nei bazinis: sugeneravo didesnę realizuotą grąžą, turėjo mažesnę beta reikšmę bei reikšmingai sumažino dienos VaR ir CVaR, patvirtindamas CVaR minimizavimo tinkamumą kapitalo apsaugai nepalankiose rinkos sąlygose. Šie rezultatai patvirtina, kad CVaR minimizavimas kartu su svorių apribojimais sukuria struktūriškai stabilų ir diversifikuotą portfelį, kurio sprendiniai prisideda prie nuostolių uodegų mažinimo.

Vertinant rizikos tolerancijos klasių pritaikymą, galima teigti, kad optimizuoto portfelio personalizavimas visose trijose rinkos fazėse išlieka nuoseklus ir aiškiai pagrįstas: portfelio sudėtis nekeičiama, o investuotojo rizikos profilis realizuojamas per apsidraudimo intensyvumo koregavimą pagal kiekvienai klasei nustatytas CVaR ribas. Augimo fazėje realizavimo metu portfelio rizika sumažėja, todėl apsidraudimo poreikis mažėja: mažos rizikos investuotojams jis išlieka, tačiau marža mažinama, o vidutinės rizikos investuotojams apsidraudimas realizavimo metu tampa nereikalingas. Vis tik augimo fazėje užfiksuoti 8 apsidraudimo bankrotai žemos rizikos ir 3 bankrotai vidutinės rizikos klasėse, o apsidraudimo grąža yra nuostolinga, kas rodo, jog rizikos ribų laikymasis šioje fazėje pasiekiamas papildomų kaštų sąskaita. Konsolidacijos fazėje realizuota rizika padidėja, todėl žemos

rizikos klasei apsidraudimo marža turi būti didinama, siekiant CVaR sugrąžinti iki 1,5% ribos, tuo tarpu vidutinėje ir aukštoje klasėse apsidraudimo poreikio nėra. Šioje fazėje fiksuojamas 1 apsidraudimo bankrotas žemoje rizikos klasėje ir neigiama apsidraudimo grąža. Kritimo fazėje apsidraudimo poreikis tampa intensyviausias, nes CVaR išlieka aukštas, o realizavimo metu dar labiau padidėja, todėl apsidraudimas būtinas tiek žemos, tiek vidutinės rizikos klasės investuotojams. Skirtingai nei kitose fazėse, kritimo fazėje apsidraudimo bankrotų nefiksuota, o apsidraudimo grąža yra teigiama, kas leidžia teigti, kad apsidraudimas ne tik sumažina CVaR iki nustatytų ribų, bet ir nagrinėjamu laikotarpiu nesudaro papildomų nuostolių. Vis tik, su šiuo suformuotu portfeliu, aukštos rizikos klasės investuotojui apsidraudimas nebuvo taikytinas, kadangi portfelis nepasiekė 5% rizikos ribos. Tokie rezultatai patvirtina, kad CVaR pagrindu sukurtas modelis kartu su apsidraudimo mechanizmu leidžia tiksliai ir dinamiškai valdyti uodegos riziką skirtingomis rinkos sąlygomis, prisitaikant prie individualaus investuotojo rizikos profilio neprarandant portfelio optimizavimo efektyvumo.

Bendrai vertinant, empiriniai rezultatai patvirtina, kad CVaR minimizavimo metodas, derinamas su svorių apribojimais ir apsidraudimo mechanizmu, gali būti naudojamas kuriant praktiškai taikomą investicinio portfelio optimizavimo sprendimą. Modelis leidžia suformuoti portfelį, kuris pagerina grąžos ir rizikos santykį, sumažina ilgalaikių nuostolių tikimybę ir išlieka pakankamai lankstus, kad būtų pritaikytas skirtingų rizikos klasių investuotojams, nekeičiant pačios aktyvų sudėties.

3.4. Modelio ribotumai ir tobulinimo galimybės

Atliktas empirinis tyrimas parodė, kad CVaR pagrindu sukurtas portfelio optimizavimo modelis gali būti veiksmingas įrankis investuotojo rizikos ir grąžos santykiui gerinti, tačiau kartu išryškino kelis reikšmingus ribotumus, susijusius su taikyta metodika, duomenų prielaidomis ir praktine modelio realizacija. Pirmiausia pažymėtina, kad taikytas svorių intervalas $[0,05; 0,20]$, nors ir pagrįstas diversifikacijos poreikiu, riboja optimizavimo laisvę ir lemia kampinius sprendinius, kuriuose daugelio aktyvų svoriai priima ribines reikšmes. Tokie ribojimai užtikrina portfelio struktūrinį stabilumą, tačiau gali mažinti tikėtiną sprendinio optimalumą, nes apriboja modelio galimybes lanksčiau formuoti svorių paskirstymą.

Modelio ribotumams priskirtinas supaprastintas apsidraudimo sprendimas ir dalies praktinių rinkos veiksmų neįtraukimas. Tyrime naudotas tik vienas apsidraudimo instrumentas S&P 500 CFD, nors atskirų portfelio aktyvų rizikos struktūra gali būti silpnai susieta su šio indekso dinamika. Be to, vertinant apsidraudimą ir bendrą modelio realizaciją nebuvo įtraukti sandorių kaštai tiek apsidraudimo, tiek portfelio aktyvų prekybos atžvilgiu, taip pat spredo ir likvidumo veiksniai ar dividendų poveikis.

Dėl to apsidraudimo funkcionalumas ir gauti rezultatai šiame tyrime vertintini kaip supaprastinti ir neviseiškai atspindintys realiomis investavimo sąlygomis susidarančius kaštus ir apribojimus.

Empiriniai rezultatai trijose rinkos fazėse atskleidė reikšmingą skirtumą tarp optimizavimo ir realizacijos metu nustatyto CVaR: augimo fazėje rizika sumažėjo, o konsolidacijos ir kritimo fazėse – padidėjo. Todėl, dėl kintančios portfelio rizikos, investuotojui reiktų taikyti dinaminį apsidraudimą, kuris būtų periodiškai atnaujinamas pagal naujausias reikšmes, taip užtikrinant, kad apsidraudimo intensyvumas nuolat atitiktų realią rinkos situaciją.

Atsižvelgiant į nurodytus ribotumus, numatytos kelios galimos modelio tobulinimo kryptys. Pirmiausia būtų tikslinga plėsti aktyvų rinkinį – įtraukti daugiau sektorių, geografinių regionų ar skirtingų turto klasių instrumentų (pvz., obligacijas, žaliavas, ETF fondus), padidinant diversifikacijos potencialą ir sumažinant priklausomybę nuo vienos rinkos dinamikos. Antra, apsidraudimo sistema galėtų būti praplėsta naudojant kelis indekso instrumentus, sektorių ETF ar opcionų strategijas, kurios tiksliau atspindėtų skirtingų portfelio komponentų riziką ir leistų valdyti riziką efektyviau nei naudojant vieną bendrą rinkos indeksą. Trečia, modelyje būtų galima integruoti praktinius rinkos apribojimus ir prekybos kaštus, kad rezultatai būtų arčiau realaus investicinio konteksto. Galiausiai modelis galėtų būti pritaikytas naudoti dinaminį rizikos valdymo sprendimus, kurie leistų reguliuoti apsidraudimo intensyvumą reaguojant į kintančias rinkos sąlygas.

Apibendrinant galima teigti, kad nors šiame tyrime taikytas modelis yra funkcionalus ir empiriškai efektyvus, jo ribotumai nurodo aiškias tobulinimo galimybes, kurios leistų padidinti modelio tikslumą ir praktinį pritaikomumą. Taikant dinaminį rizikos valdymą, didinant diversifikacijos potencialą, plečiant apsidraudimo priemonių rinkinį ir įtraukiant papildomus realios finansų biržos apribojimus, modelis galėtų tapti dar tikslesniu bei efektyvesniu personalizuoto investavimo sprendimu.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

Atlikus teorinę investicinio portfelio optimizavimo ir individualios rizikos valdymo analizę, išnagrinėjus egzistuojančių sprendimų taikymo ypatumus bei suformulavus integruoto modelio koncepciją, galima pateikti pagrindines darbo išvadas. Išvados grindžiamos išsikeltu darbo tikslu ir uždaviniais, siekiant apibendrinti svarbiausias išvagas, gautas atliekant tyrimą ir kuriant siūlomą sprendimą:

1. Teorinė analizė atskleidė, kad investicinio portfelio optimizavimas negali būti efektyvus be integruoto požiūrio į rizikos valdymą ir elgsenos finansus. Klasikiniai modeliai, tokie kaip Markowitz modelis, teikia svarbų matematinį pagrindą, tačiau realiomis sąlygomis jų taikymą riboja supaprastintos prielaidos ir individualaus investuotojo elgsenos ignoravimas. Elgsenos finansų teorijos (Lo, Thaler, Montier) pagrindžia emocijų – ypač baimės ir godumo – reikšmę sprendimų priėmimui, todėl jų neutralizavimas tampa esminiu efektyvaus investavimo komponentu.
2. Egzistuojančių portfelio optimizavimo sprendimų analizė parodė, kad tokios sistemos kaip „MSCI Open Optimizer“, „Bloomberg Portfolio & Risk Analytics“ ir „Morningstar Direct“ taiko pažangius rizikos vertinimo bei optimizavimo modelius, įskaitant streso testavimą ir įvairias analizes. Tačiau jos nesiūlo investuotojo rizikos tolerancijos vertinimo mechanizmų, pagrįstų psichologiniais elgsenos finansų tyrimais, ir neintegruoja CVaR apribojimų pagal individualų investuotojo psichologinį profilį. Dėl to esami sprendimai iš esmės orientuojasi į techninius optimizavimo aspektus, bet ribotai pritaikomi individualizuotam portfelio formavimui.
3. Remiantis teorine analize ir egzistuojančių sistemų vertinimu, buvo suformuluota investicinio portfelio optimizavimo modelio koncepcija. Joje siūloma derinti portfelio optimizavimą pagal CVaR minimizavimo principą su individualios rizikos tolerancijos vertinimu pagal Grable ir Lytton testą bei apsidraudimo strategijos taikymu tais atvejais, kai portfelio rizika viršija investuotojui priimtina ribą. Modelio koncepcija grindžiama trimis tarpusavyje sąveikaujančiais komponentais: (1) rizikos tolerancijos įvertinimu, (2) CVaR pagrindu veikiančiu portfelio formavimo algoritmu su svorių ribojimais ir (3) hedžingo poreikio vertinimu bei pritaikymu naudojant S&P 500 CFD instrumentą, siekiant sumažinti rinkos nepastovumo poveikį investuotojo rizikai.
4. Prototipas, sukurtas su „NestJS“, „Next.js“ ir „MySQL“ technologijomis, užtikrino nuoseklų rizikos testų, CVaR optimizavimo, apsidraudimo skaičiavimų ir rezultatų vizualizavimo

procesą. Sukurta sisteminė logika leidžia automatizuoti portfelio sudarymo etapą, integruoti individualios rizikos tolerancijos įvertinimą ir adaptuoti apsidraudimo intensyvumą pagal rizikos klasę. Tai patvirtina, kad technologinis modelio pagrindas yra tinkamas integruotai portfelio valdymo sistemai, kuri geba priimti personalizuotus sprendimus remiantis tiek investuotojo psichologiniu profiliu, tiek statistiniais rizikos rodikliais.

5. Rezultatai parodė, kad rinkos augimo, kritimo ir konsolidacijos laikotarpiais optimizuotas portfelis pasižymėjo mažesniu dienos CVaR, žemesne beta ir aukštesniu Sharpe santykiu nei bazinis portfelis. Be to, trijų rinkos fazių analizė atskleidė, kad modeliuotų ir realizuotų rizikos rodiklių dinamika skiriasi: augimo fazėje rizika sumažėjo, o kritimo ir konsolidacijos fazėse – išaugo. Tačiau apsidraudimo mechanizmas šiuos pokyčius efektyviai kompensavo. Tai patvirtina, kad sukurtas modelis gali būti taikomas personalizuotam portfelio optimizavimui realiomis rinkos sąlygomis, išlaikant optimizuoto portfelio stabilumą ir lanksčiai valdant riziką pagal individualią investuotojo toleranciją.

Remiantis atliktu investicinio portfelio optimizavimo ir individualios rizikos valdymo modelio empirinio tyrimo rezultatų analize, toliau pateikiami šie pasiūlymai:

1. Plėsti analizuojamų aktyvų rinkinį, įtraukiant daugiau sektorių, geografinių regionų ir skirtingų turto klasių (obligacijas, žaliavas, ETF fondus), siekiant padidinti diversifikacijos potencialą ir sumažinti priklausomybę nuo vienos rinkos dinamikos.
2. Patobulinti apsidraudimo sistemą, papildant S&P 500 CFD kitais instrumentais, tokiais kaip kelių indeksų ateities sandoriai, sektorių ETF ar opcijų strategijos, kad būtų tiksliau atspindėta skirtingų portfelio komponentų rizikos struktūra.
3. Integruoti praktinius rinkos veiksnius – sandorių kaštus, spreadus, dividendus, mokesčius, likvidumo ir minimalių prekybos vienetų apribojimus – kad modelio rezultatai būtų artimesni realioms investavimo sąlygoms.
4. Įdiegti dinaminio rizikos valdymo ir apsidraudimo atnaujinimo mechanizmą, periodiškai pervertinant CVaR, kad apsidraudimo intensyvumas nuolat atitiktų kintančią rinkos rizikos struktūrą.

LITERATŪRA

1. Bartkus, E. V., & Bartkute, A. P. (2013). The Optimization and Evaluation of Investment Portfolio. *Inžinerinė Ekonomika*, 24(4), 282–290. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.24.4.5416>
2. Konno, H., & Yamazaki, H. (1991). Mean-Absolute Deviation Portfolio Optimization Model and Its Applications to Tokyo Stock Market. *Management Science*, 37(5), 519–531. <https://doi.org/10.1287/mnsc.37.5.519>
3. Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance (New York)*, 7(1), 77. <https://doi.org/10.2307/2975974>
4. Rockafellar, R. T., & Uryasev, S. (2000). Optimization of conditional value-at-risk. *The Journal of Risk*, 2(3), 21–41. <https://doi.org/10.21314/JOR.2000.038>
5. Young, M. R. (1998). A Minimax Portfolio Selection Rule with Linear Programming Solution. *Management Science*, 44(5), 673–683. <https://doi.org/10.1287/mnsc.44.5.673>
6. Bodie, Z., Kane, A., & Marcus, A. J. (2014). *Investments* (10th global ed.). McGraw Hill Education.
7. Damodaran, A. (2012). *Investment valuation : tools and techniques for determining the value of any asset* (3rd ed.). J. Wiley.
8. Gilliam, J. E., Chatterjee, S., & Zhu, D. (2010). Determinants Of Risk Tolerance In The Baby Boomer Cohort. *Journal of Business & Economics Research (JBER)*, 8(5). <https://doi.org/10.19030/jber.v8i5.721>
9. Grable, J., & Lytton, R. H. (1999). Financial risk tolerance revisited: the development of a risk assessment instrument. *Financial Services Review (Greenwich, Conn.)*, 8(3), 163–181. [https://doi.org/10.1016/S1057-0810\(99\)00041-4](https://doi.org/10.1016/S1057-0810(99)00041-4)
10. Hull, J. (2018). *Risk management and financial institutions* (Fifth edition.). Wiley.
11. Maginn, J. L. (2007). *Managing investment portfolios : a dynamic process* (3rd ed.). Wiley.
12. Elton, E. J., & Gruber, M. J. (1997). Modern portfolio theory, 1950 to date. *Journal of Banking & Finance*, 21(11–12), 1743–1759. [https://doi.org/10.1016/S0378-4266\(97\)00048-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4266(97)00048-4)
13. Elton, E. J., & Gruber, M. J. (1995). *Modern Portfolio Theory and Investment Analysis* (5th ed.). Wiley.
14. Barber, B. M., & Odean, T. (2001). Boys will be Boys: Gender, Overconfidence, and Common Stock Investment. *The Quarterly Journal of Economics*, 116(1), 261–292. <https://doi.org/10.1162/003355301556400>
15. Devenow, A., & Welch, I. (1996). Rational herding in financial economics. *European Economic Review*, 40(3–5), 603–615. [https://doi.org/10.1016/0014-2921\(95\)00073-9](https://doi.org/10.1016/0014-2921(95)00073-9)

16. Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux.
17. Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: an analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 263–291. <https://doi.org/10.2307/1914185>
18. Lo, A. W. (2017). *Adaptive markets: Financial evolution at the speed of thought*. Princeton University Press.
19. Lo, A. W., & Repin, D. V. (2002). The Psychophysiology of Real-Time Financial Risk Processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(3), 323–339. <https://doi.org/10.1162/089892902317361877>
20. Montier, J. (2007). *Behavioural investing: a practitioner's guide to applying behavioural finance*. John Wiley & Sons.
21. Pompian, M. M. (2006). *Behavioral finance and wealth management*. John Wiley & Sons.
22. Thaler, R. H. (2005). *Advances in behavioral finance* (Vol. 2). Russell Sage Foundation.
23. Longin, F., & Solnik, B. (2001). Extreme Correlation of International Equity Markets. *The Journal of Finance (New York)*, 56(2), 649–676. <https://doi.org/10.1111/0022-1082.00340>
24. Hull, J. C. (2018). *Options, Futures, and Other Derivatives* (10th ed.). Pearson.
25. Rockafellar, R. T., & Uryasev, S. (2002). Conditional value-at-risk for general loss distributions. *Journal of Banking & Finance*, 26(7), 1443–1471. [https://doi.org/10.1016/S0378-4266\(02\)00271-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4266(02)00271-6)
26. Alexander, G. J., & Baptista, A. M. (2004). A Comparison of VaR and CVaR Constraints on Portfolio Selection with the Mean-Variance Model. *Management Science*, 50(9), 1261–1273. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1040.0201>
27. Bertsimas, D., Lauprete, G. J., & Samarov, A. (2004). Shortfall as a risk measure: properties, optimization and applications. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 28(7), 1353–1381. [https://doi.org/10.1016/S0165-1889\(03\)00109-X](https://doi.org/10.1016/S0165-1889(03)00109-X)
28. Andersen, T. G., Bollerslev, T., Diebold, F. X., & Labys, P. (2003). Modeling and Forecasting Realized Volatility. *Econometrica*, 71(2), 579–625. <https://doi.org/10.1111/1468-0262.00418>
29. Cong, J., Tan, K. S., & Weng, C. (2014). Conditional value-at-risk-based optimal partial hedging. *The Journal of Risk*, 16(3), 49–83. <https://doi.org/10.21314/JOR.2014.293>
30. Xu, Q., Zhou, Y., Jiang, C., Yu, K., & Niu, X. (2016). A large CVaR-based portfolio selection model with weight constraints. *Economic Modelling*, 59, 436–447. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2016.08.014>
31. Alexeev, V., & Dungey, M. (2015). Equity portfolio diversification with high frequency data. *Quantitative Finance*, 15(7), 1205–1215. <https://doi.org/10.1080/14697688.2014.973898>
32. Tang, G. Y. N. (2004). How efficient is naive portfolio diversification? an educational note. *Omega (Oxford)*, 32(2), 155–160. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2003.10.002>

33. Kryzanowski, L., & Singh, S. (2010). Should Minimum Portfolio Sizes Be Prescribed for Achieving Sufficiently Well-Diversified Equity Portfolios? In *Frontiers in Finance and Economics*. Vol. 7, No. 2, 1–37.
34. Rabbani, A., O'Neill, B., Lawrence, F., & Grable, J. (2018). *The investment risk tolerance assessment: A resource for extension educators*. *The Journal of Extension*, 56(7), Article 3. <https://doi.org/10.34068/joe.56.07.03>
35. McNeil, A., Embrechts, P., & Frey, R. (2005). *Quantitative risk management : concepts, techniques and tools*. Princeton University Press.
36. Bloomberg (2018). *Better portfolio decisions* [Produkto dokumentacija]. Prieiga per https://data.bloomberglp.com/professional/sites/10/1-PORT-Brochure_Image-on-page-3-and-6.pdf
37. Morningstar, Inc. (2020). *QuickStart Guide to Morningstar Direct* [Produkto dokumentacija]. Prieiga per <https://morningstardirect.morningstar.com/clientcomm/DirectOverview.pdf>
38. MSCI Inc. (2024). *MSCI Open Optimizer* [Produkto dokumentacija]. Prieiga per <https://www.msci.com/documents/1296102/8335426/Barra-Open-Optimizer.pdf>

INVESTICINĖS RIZIKOS TOLERANCIJOS VERTINIMO TESTAS

1. Apskritai, kaip Jūsų geriausias draugas apibūdintų Jus kaip rizikos prisiėmėją?
 - a. Tikras lošėjas [4]
 - b. Pasiryžęs prisiimti riziką atlikęs pakankamus tyrimus [3]
 - c. Atsargus [2]
 - d. Visiškai vengiantis rizikos [1]
2. Esate TV žaidimo laidoje ir galite rinktis vieną iš šių variantų. Kurį pasirinktumėte?
 - a. 1 000 \$ grynaisiais [1]
 - b. 50 % tikimybė laimėti 5 000 \$ [2]
 - c. 25 % tikimybė laimėti 10 000 \$ [3]
 - d. 5 % tikimybė laimėti 100 000 \$ [4]
3. Ką tik sutaupėte „kartą gyvenime“ atostogoms. Likus trims savaitėms iki išvykimo netenkate darbo. Ką darytumėte?
 - a. Atšaukčiau atostogas [1]
 - b. Rinkčiausi gerokai kuklesnes atostogas [2]
 - c. Vykčiau kaip suplanuota, nes reikia laiko pasiruošti darbo paieškai [3]
 - d. Pratęščiau atostogas, nes tai gali būti paskutinė proga keliauti pirmąja klase [4]
4. Jei netikėtai gautumėte 20 000 \$ investuoti, ką darytumėte?
 - a. Padėčiau į banko sąskaitą, pinigų rinkos fondą arba apdraustą indėlį [1]
 - b. Investuočiau į saugias aukštos kokybės obligacijas ar obligacijų fondus [2]
 - c. Investuočiau į akcijas arba akcijų fondus [3]
5. Kalbant apie patirtį, kiek jaučiatės komfortiškai investuodamas (-a) į akcijas ar akcijų fondus?
 - a. Visai nekomfortiškai [1]
 - b. Iš dalies komfortiškai [2]
 - c. Labai komfortiškai [3]
6. Išgirdę žodį „rizika“, kurį iš toliau pateiktų žodžių pirmiausia pagalvojate?
 - a. Nuostolis [1]
 - b. Neapibrėžtumas [2]
 - c. Galimybė [3]
 - d. Jaudulys [4]
7. Kai kurie ekspertai prognozuoja, kad kietojo turto (auksas, brangakmeniai, kolekcionuojami daiktai, nekilnojamasis turtas) kainos kils; obligacijų kainos gali kristi, tačiau sutariama, kad valstybės obligacijos yra palyginti saugios. Dauguma Jūsų investicijų dabar – didelių palūkanų valstybės obligacijose. Ką darytumėte?

- a. Laikyčiau obligacijas [1]
 - b. Parduočiau obligacijas: pusę lėšų skirčiau pinigų rinkos priemonėms, kitą pusę – kietajam turtui [2]
 - c. Parduočiau obligacijas ir visas lėšas skirčiau kietajam turtui [3]
 - d. Parduočiau obligacijas, visas lėšas skirčiau kietajam turtui ir dar pasiskolinčiau papildomai [4]
8. Atsižvelgiant į geriausią ir blogiausią grąžą žemiau pateiktuose keturiuose pasirinkimuose, kurį rinktumėtės?
- a. Geriausiu atveju +200 \$, blogiausiu atveju 0 \$ [1]
 - b. Geriausiu atveju +800 \$, blogiausiu atveju –200 \$ [2]
 - c. Geriausiu atveju +2 600 \$, blogiausiu atveju –800 \$ [3]
 - d. Geriausiu atveju +4 800 \$, blogiausiu atveju –2 400 \$ [4]
9. Be to, ką jau turite, Jums skiriama 1 000 \$. Turite pasirinkti vieną iš variantų:
- a. Užtikrintas 500 \$ prieaugis [1]
 - b. 50 % tikimybė gauti 1 000 \$ ir 50 % tikimybė negauti nieko [3]
10. Be to, ką jau turite, Jums skiriama 2 000 \$. Turite pasirinkti vieną iš variantų:
- a. Užtikrintas 500 \$ nuostolis [1]
 - b. 50 % tikimybė prarasti 1 000 \$ ir 50 % tikimybė neprarasti nieko [3]
11. Tarkime, kad paveldėjote 100 000 \$ su sąlyga, kad VISUS pinigus investuosite į VIENĄ iš šių pasirinkimų. Kurį pasirinktumėte?
- a. Taupomoji sąskaita arba pinigų rinkos fondas [1]
 - b. Mišrus fondas, investuojantis į akcijas ir obligacijas [2]
 - c. 15 paprastųjų akcijų portfelis [3]
 - d. Žaliavos, pvz., auksas, sidabras, nafta [4]
12. Jei turėtumėte investuoti 20 000 \$, kuris iš toliau pateiktų portfelių Jums būtų patraukliausias?
- a. 60 % mažos rizikos, 30 % vidutinės rizikos, 10 % didelės rizikos investicijų [1]
 - b. 30 % mažos rizikos, 40 % vidutinės rizikos, 30 % didelės rizikos investicijų [2]
 - c. 10 % mažos rizikos, 40 % vidutinės rizikos, 50 % didelės rizikos investicijų [3]
13. Patikimas Jūsų draugas ir kaimynas, patyręs geologas, buria investuotojų grupę žvalgomajai aukso kasybos veiklai finansuoti. Jei pasiseks, investicija gali atsipirkti 50–100 kartų, jei nepasiseks – visą investiciją prarasite. Draugo vertinimu, sėkmės tikimybė – tik 20 %. Jei turėtumėte pinigų, kiek investuotumėte?
- a. Nieko [1]
 - b. Vieno mėnesio atlyginimą [2]
 - c. Trijų mėnesių atlyginimą [3]
 - d. Šešių mėnesių atlyginimą [4]

S&P 500 ETF DIENINIO CVAR SKAIČIAVIMAS (PYTHON KODAS)

```
import yfinance as yf
import numpy as np

# Pabandome gauti duomenis
data = yf.download("^GSPC", start="2020-01-02", auto_adjust=True, progress=False)

# Patikriname, ar duomenys gauti
if data.empty:
    raise ValueError("Nepavyko gauti S&P 500 duomenų iš Yahoo Finance")

# Skaičiuojame dienos logaritmines grąžas
returns = np.log(data["Close"] / data["Close"].shift(1)).dropna()

# Nustatome pasikliovimo lygį
alpha = 0.95

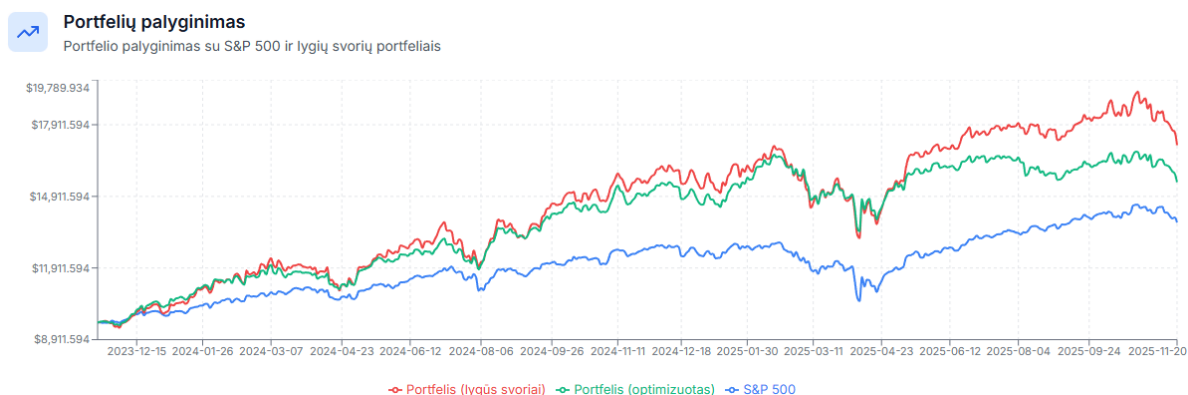
# Skaičiuojame VaR ir CVaR
var = -np.quantile(returns, 1 - alpha)
cvar = -float(returns[returns < -var].mean())

print(f"VaR (95%): {var:.4%}")
print(f"CVaR (95%): {cvar:.4%}")
```

SISTEMOS PROTOTIPO PROGRAMINIS KODAS

Šiame darbe sukurtas investicinio portfelio optimizavimo ir individualios rizikos valdymo metodo prototipo programinis kodas ir susiję konfigūracijų failai yra viešai prieinami GitHub versijų kontrolės sistemoje. Saugykla pasiekama nuorodoje: <https://github.com/DomantasSurka/portfolio-optimizer>. Saugykloje pateikiami pagrindiniai projekto komponentai, reikalingi prototipo veikimo logikai ir rezultatų generavimui (modelio realizacija, konfigūracija, paleidimo instrukcijos ir susiję failai).

OPTIMIZUOTŲ PORTFELIŲ GRAFINIAI Palyginimai su baziniu portfeliu ir RINKOS INDEKSU REALIZUOTOJE INFORMACINĖJE SISTEMOJE



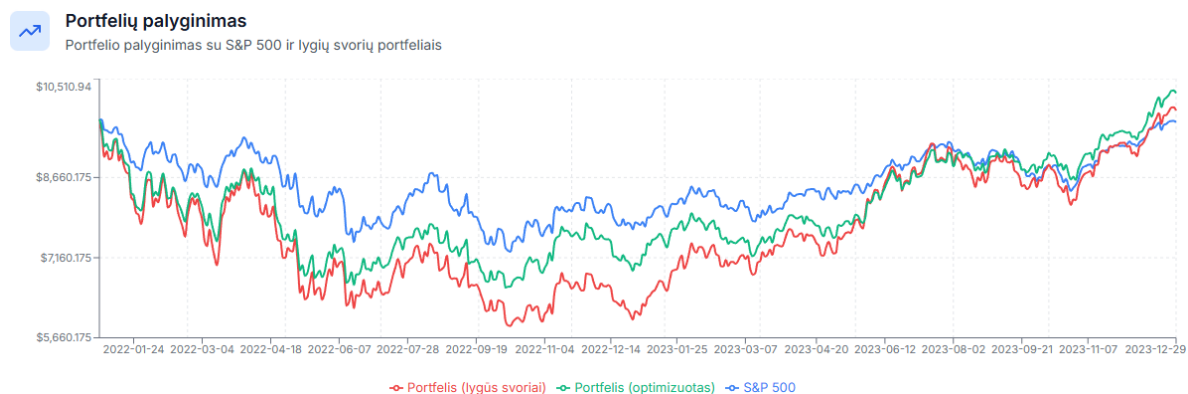
Šaltinis: sudaryta autoriaus, atlikus ekrano iškarpą iš realizuotos IS.

11 pav. Optimizuoto, bazinio portfelių su rinkos indeksu palyginimai augimo fazėje



Šaltinis: sudaryta autoriaus, atlikus ekrano iškarpą iš realizuotos IS.

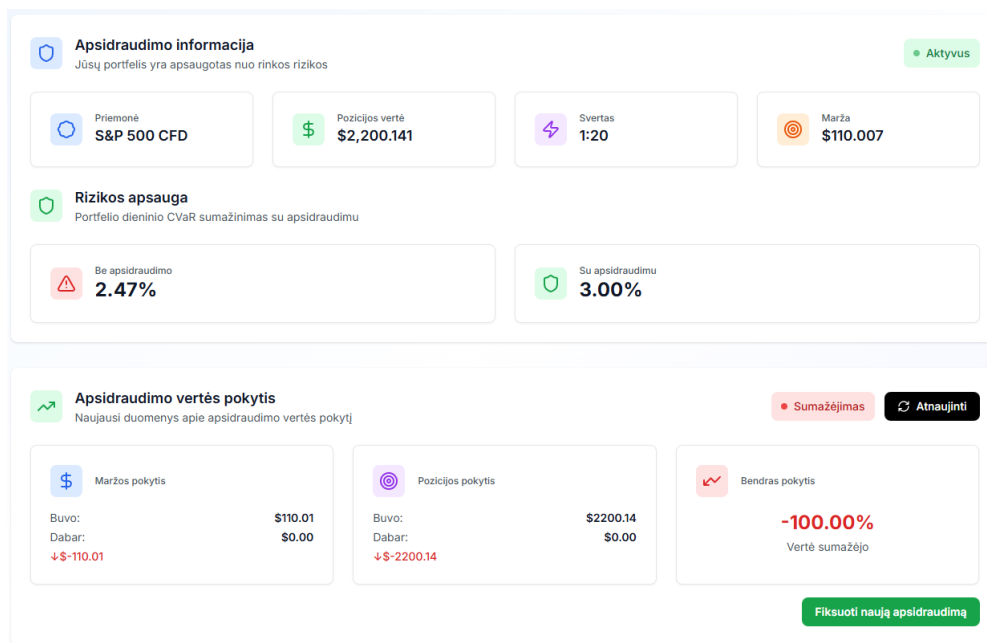
12 pav. Optimizuoto, bazinio portfelių su rinkos indeksu palyginimai konsolidacijos fazėje



Šaltinis: sudaryta autoriaus, atlikus ekrano iškarpą iš realizuotos IS.

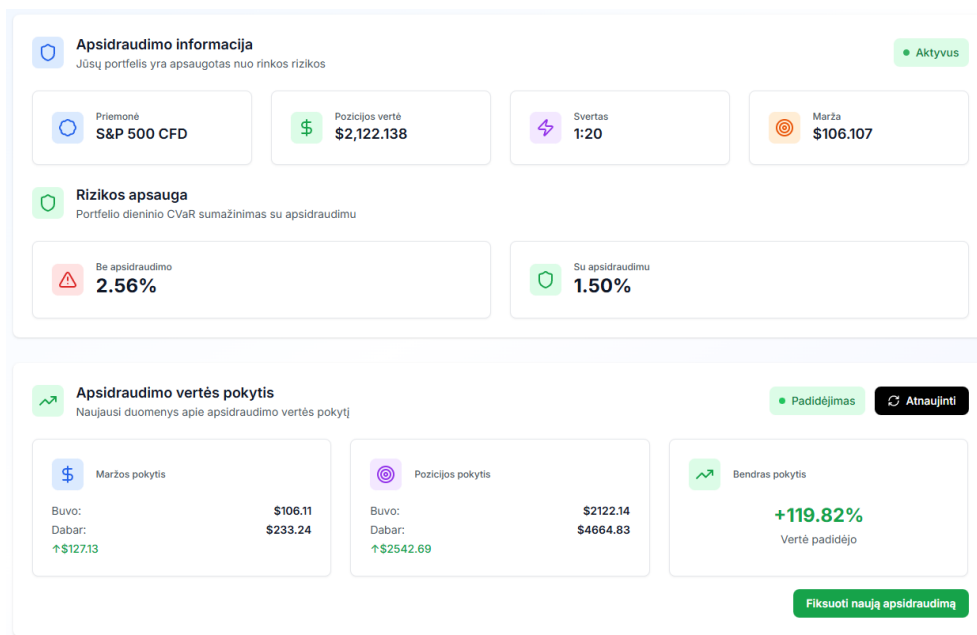
13 pav. Optimizuoto, bazinio portfelių su rinkos indeksu palyginimai kritimo fazėje

OPTIMIZUOTŲ PORTFELIŲ APSIDRAUDIMO INFORMACIJA IR VERTĖS POKYTIS REALIZUOTOJE INFORMACINĖJE SISTEMOJE



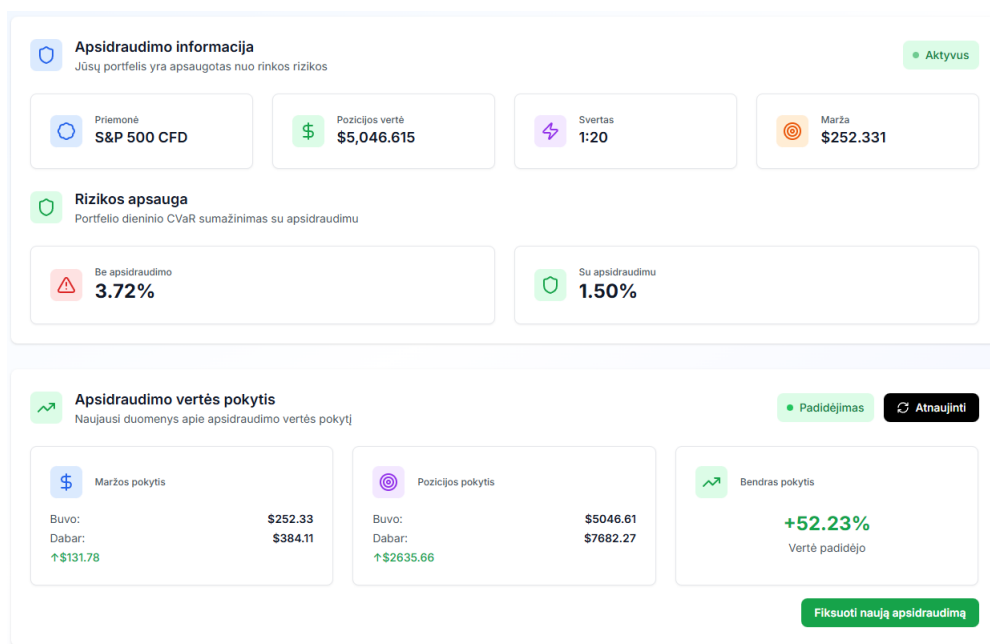
Šaltinis: sudaryta autoriaus, atlikus ekrano iškarpą iš realizuotos IS.

14 pav. Optimizuoto portfelio apsidraudimas augimo fazėje (vidutinės rizikos klasės investuotojui)



Šaltinis: sudaryta autoriaus, atlikus ekrano iškarpą iš realizuotos IS.

15 pav. Optimizuoto portfelio apsidraudimas konsolidacinėje fazėje (mažos rizikos klasės investuotojui)



Šaltinis: sudaryta autoriaus, atlikus ekrano iškarpą iš realizuotos IS.

16 pav. Optimizuoto portfelio apsidraudimas kritimo fazėje (mažos rizikos klasės investuotojui)