

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Majandusteaduskond
Majandusanalüüsi ja rahanduse instituut

Jasmin Michelle Mursula

**KRÜPTOVARADE OPTIMAALNE OSAKAAL ERAINVESTORI
INVESTEERIMISPORTFELLIS**

Magistritöö

Õppekava Ärirahandus ja majandusarvestus, peeriala Ärirahandus

Juhendaja: Kristjan Liivamägi, PhD

Tallinn 2022

Deklareerin, et olen koostanud magistritöö iseseisvalt ja olen viidanud kõikidele töö koostamisel kasutatud teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele, ning ei ole esitanud sama tööd varasemalt ainepunktide saamiseks. Töö pikkuseks on 12 703 sõna sissejuhatusest kuni kokkuvõtte lõpuni.

Jasmin Michelle Mursula

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 204290TARM

Üliõpilase e-posti aadress: jasmin.mursula@gmail.com

Juhendaja: Kristjan Liivamägi, PhD:

Töö vastab kehtivatele nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE	5
SISSEJUHATUS.....	6
1. KRÜPTOVARADE TEHNOLOOGIA JA ERAINVESTORI ELUTSÜKKEL.....	8
1.1. Plokiahela tehnoloogia ja krüptovarad	8
1.1.1. Plokiahela tehnoloogia	8
1.1.2. Krüptovarade ajalugu ja areng	10
1.1.3. Risk ja oodatav tulu.....	12
1.1.4. Krüptovarade hinda mõjutavad tegurid.....	14
1.2. Erainvestori elutsükkel ja varaklasside jaotus.....	14
1.2.1. Erainvestori elutsükkel ja varade paigutus.....	15
1.2.2. Varaklasside jaotus erinevates elutsükli etappides.....	18
2. MARKOWITZI PORTFELLITEOORIA JA BLACK-LITTERMANI MUDEL	20
2.1. Markowitzi klassikaline portfelliteooria	20
2.2. Portfelliteooria eeldused.....	21
2.3. Black-Littermani mudel	23
3. METOODIKA JA ANDMED.....	26
3.1. Kasutatav meetoodika	27
3.2. Kasutatavad andmed	33
4. OPTIMAALSE INVESTEERIMISPORTFELLI KOOSTAMINE.....	36
4.1. Varaklasside ajalooline tootlus ja standardhälve	36
4.2. Investeerimisportfelli riski ja tulu suhe.....	38
4.3. Markowitzi optimaalne portfelli.....	41
4.4. Black-Littermani optimaalne portfelli.....	47
4.5. Täiendavad analüüsid.....	53
KOKKUVÕTE.....	55
SUMMARY	58
KASUTATUD ALLIKATE LOETELU.....	61
LISAD	65
Lisa 1. Portfelli Sharpe'i suhtarv, oodatav tulumäär ja standardhälve.....	65
Lisa 2. Varaklasside dispersiooni-kovariatsioonimaatriks (indeksiga mudel).....	66
Lisa 3. Varaklasside korrelatsioonimaatriks (indeksiga mudel)	67

Lisa 4. Optimaalsed portfelligid ilma kitsendusteta (indeksiga mudel).....	68
Lisa 5. Markowitzi optimaalsed portfelligid kitsendustega (indeksiga mudel)	69
Lisa 6. Black-Littermani optimaalsed portfelligid positiivse ootuse alusel (indeksiga mudel) ...	70
Lisa 7. Black-Littermani optimaalsed portfelligid ilma ootuseta (indeksiga mudel).....	71
Lisa 8. Black-Littermani optimaalsed portfelligid negatiivse ootuse alusel (indeksiga mudel) ..	72
Lisa 9. Optimaalsed portfelligid ilma krüptovaradeta.....	73
Lisa 10. Markowitzi ja Black-Littermani võrdsete osakaaludega portfelligid.....	77
Lisa 11. Täiendava analüüsi tulemused ilma kitsendusteta.....	79
Lisa 12. Täiendava analüüsi tulemused 100% kõrgem oodatav tootlus	81
Lisa 13. Täiendava analüüsi tulemused 200% kõrgem oodatav tootlus	83
Lisa 14. Täiendava analüüsi tulemused madalam oodatav tootlus	85
Lisa 15. Lihtlitsents	87

LÜHIKOKKUVÕTE

Krüptovarad muutuvad nii Eestis kui mujal maailmas aina populaarsemaks ning investorite huvi krüpto osas kasvab. Ometi lasub krüptovarade ümber ohtralt küsimusi ning arusaamatust. Käesoleva magistritöö eesmärk on leida erainvestori portfelli kõige optimaalsem krüptovarade osakaal, arvestades sealhulgas investori elutsükli. Eesmärgi täitmise läbi kavatses autor tuua investoritele krüptovarade suhtes rohkem selgust ning anda seeläbi võimalus teha kaalutletud otsus krüptovarade portfelli lisamise osas. Magistritöö peamine uurimisküsimus on, kui suure osakaalu portfelli varadest peaks erainvestor investeerima krüptovaradesse, arvestades tema elutsükli?

Töö põhineb Markowitzi klassikalise portfelliteooria mudelil ning Black-Littermani mudelil. Optimeerimisülesande lahendamisel võetakse arvesse investori vanust ja teisi varaklasse. Uuringu läbiviimiseks luuakse dünaamiline mudel, kuhu sisestatakse lisaks krüptovaradele ka väikese ja suure turukapitalisatsiooniga aktsiad, riikide ja ettevõtete võlakirjad, kinnisvara, toorained ning raha ja ekvivalendid.

Tulemused näitavad, et krüptovarad on väikeses koguses vaatamata nende kõrgele volatiilsusele ning kaasnevale riskile igas vanuses investori portfelli oluline element. Krüptovarade optimaalne osakaal on suurim nooruses ja väheneb investori vanuse kasvades.

Võtmesõnad: Investeerimisportfelli optimeerimine, Markowitzi portfelliteooria, Black-Littermani mudel, plokiahela tehnoloogia, krüptovarad

SISSEJUHATUS

Tehnoloogia areng on ääretu. Maailm on järjest rohkem reaalajas ning inimesed saavad piiranguteta teineteisega suhelda olenemata nende geograafilisest või sotsiaalmajanduslikust päritolust. Krüptovarade maailm võib vahetevahel tunduda õudne ja ulmeline. Tõenäoliselt samastub see tundege, mida tunti siis, kui esimest korda räägiti elektrist või internetist, sest paljudes tekitavad taolised muutused hirmu. Samas loovad need uusi võimalusi ning võivad endas peita enneolematut edu, kui vastavalt võimalustele tegutseda. Üldiselt viidatakse krüptovaradele kui krüptograafiliselt turvatud väärtusele või lepinguliste õiguste digitaalsele esitusele, mida saab elektrooniliselt salvestada ja üle kanda või millega on võimalik kaubelda. (FCA, 2019, 8) Krüptovarad muutuvad nii Eestis kui mujal maailmas aina populaarsemaks ning investorite huvi krüpto osas kasvab, kuid sellegipoolest lasub krüptovarade ümber ohtralt küsimusi ning arusaamatust. Aina enam keskendutakse investeerimisel riskide juhtimisele ning üldlevinud arvamus on see, et krüptovarad on äärmiselt ettearvamatud ning riskantsed. *Bitcoinist* on mõeldud kui digitaalsest püramiidskeemist ja petturite kahtlustäratavast süsteemist. Krüptovaradest on tehtud sadu meediaväljaandeid ning neid on lähemalt uurinud ka mainekad asutused (Londoni majandus- ja poliitikateaduste kool, Saksamaa keskpang, Madison Wisconsin ülikool), kes on nimetanud *bitcoini* majanduse evolutsiooniks. Kindel on see, et tänapäeval on *bitcoin* midagi palju rohkemat kui ainult maksevahend ebaseaduslike teenuste või kaupade eest. (Burniske, Tatar 2008, 42-43) Kasvav huvi ning eelarvamused krüptovarade osas kutsusid autoris esile huvi antud teemat uurima.

Käesoleva magistritöö eesmärk on leida erainvestori portfelli kõige optimaalsem krüptovarade osakaal, arvestades sealhulgas investori elutsüklit. Autor püüab tuua investoritele rohkem selgust ning anda seeläbi igale investorile võimalus teha kaalutletud otsus sellest, kas krüptovarad sisaldavad endas ohtu või võimalust. Tegemist on empiirilise probleemiga, mis põhineb reaalsel ajaloolistel andmetel. Magistritöös võetakse aluseks ajalooliselt realiseeritud tootlus ning investeerimisega seotud riskid, mille abil selgitatakse välja kõige optimaalsem osakaal krüptovaradesse investeerimiseks. Töö põhineb Markowitzi klassikalisel portfelliteoorial ning Black-Littermani matemaatilisel mudelil. Eesmärgi täitmisel võetakse arvesse erainvestori

elutsükli ning teisi varaklasse. Uuringu läbiviimiseks luuakse dünaamiline mudel, kuhu sisestatakse lisaks krüptovaradele väikese ja suure turukapitalisatsiooniga aktsiad, riikide ja ettevõtete võlakirjad, kinnisvara, toorained ning raha ja ekvivalendid.

Magistritöö peamine uurimisküsimus on järgmine: Kui suure osakaalu portfelli varadest peaks erainvestor investeerima krüptovaradesse, arvestades tema elutsükli?

Eesmärgi täitmiseks püstitatakse järgmised hüpoteesid:

H1: Krüptovarade osakaal portfellis sõltub investori elutsükli faasist

H2: Investoril on mõistlik omada krüptovarasid elutsükli varases faasis

H3: Krüptovarade lisamine portfelli suurendab koguportfelli riski ja oodatavat tootlust

Magistritöö koosneb neljast peatükist. Esimeses ja teises peatükis annab autor ülevaate magistritöö aluseks olevast teoreetilisest materjalist. Esimene peatükk keskendub plokiahela tehnoloogiale ja krüptovarade detailidele ning erainvestori elutsükli kirjeldamisele. Teine peatükk annab põhjaliku ülevaate magistritöös kasutatavatest kahest peamisest mudelist. Kolmandas peatükis kirjeldab autor metodoloogiat ja andmeid ning neljandas peatükis koostab autor optimaalsed investeerimisportfellid.

Autor kasutab suurt algustähte platvormide korral, mis kannavad programmeeritavat raha ning krüptovarade korral väikest algustähte. Näiteks, Bitcoin on platvorm, mille peal on digitaalne raha, mida nimetatakse *bitcoin*'iks. Bitcoin on seega tarkvara ja *bitcoin* valuuta.

Autori parima teadmise järgi ei ole samal teemal magistritöid seni kirjutatud, mis tähendab, et tegemist on esimese krüptovarade osakaalu analüüsiva tööga. Käesolev magistritöö pakub olulist väärtust väärtipaberiturul kauplejatele, vastates küsimustele kas? ja kui palju? peaks krüptovaradesse investeerima. Eriti suurt kasu saavad erainvestorid, kes ei ole julgenud krüptovaradesse investeerimist alustada, kuid sooviksid seda teha. Lisaks annab magistritöö olulise panuse krüptovaradele keskendunud kirjanduse ja uurimuste kogusse ning pakub lisaväärtust valdkonnast kaugetele investoritele või huvilistele, sest töös on selgelt ja lihtsalt kirjeldatud krüptovarade olemust ja toimimist ning plokiahela tehnoloogiat, millel kogu krüptovarade süsteem põhineb.

1. KRÜPTOVARADE TEHNOLOOGIA JA ERAINVESTORI ELUTSÜKKEL

Mõistmaks krüptovaradesse investeerimist tuleb esmalt aru saada nende taga olevast tehnoloogiast ning erainvestori elutsüklist. On teada, et krüptovarade tehnoloogia funktsioneerimisest ei saa suur osa elanikkonnast täielikult aru ning enamus panku hoiab krüptovaradest eemale. Autori hinnangul aitab elutsüklike teooria investori varade jaotust kõige paremini seletada. Samuti saab seda rakendada investeerimisotsuste tegemisel.

Esimestes peatükkides annab autor ülevaate plokiahela tehnoloogiast ning krüptovarade ajaloost. Samuti püüab autor selgitada, kuidas mõjutavad erinevad tegurid krüptovarade riski ja tulu ning millised tegurid mõjutavad krüptovarade hinda. Teises alapeatükis keskendub autor elutsüklike teooriale ning varaklasside jaotusele.

1.1. Plokiahela tehnoloogia ja krüptovarad

Arvatakse, et plokiahela tehnoloogia toob esile maailma, kus pole vajadust sularaha, telliskivist pangahoonete ega isegi tsentraliseeritud rahapoliitika järele. Selle asemel hallatakse finantsvara väärtust virtuaalses süsteemis, millel puudub keskne võimuesindaja ning mida juhitakse deentraliseeritud ja demokraatlikul viisil. (Burniske, Tatar 2018, 25) Plokiahela tehnoloogia põhineb matemaatilise korra loomisel ning antud tehnoloogia üks võimsamaid omadusi on muutumatu ja läbipaistva informatsiooni talletamine selliselt, et see on kõigile samadel võimalustel kättesaadav ja seda ei saa digitaalsest ajaloost kunagi kustutada.

1.1.1. Plokiahela tehnoloogia

Plokiahela tehnoloogia sai alguse Satoshi Nakamoto 2008. aastal avaldatud artiklist. Kuigi nimi Satoshi Nakamoto on tuntud kui *Bitcoin*i leiutaja, ei ole tegelikku isikut nime taga kunagi tuvastatud. Tema või nemad või see on suutnud jääda täiesti anonüümseks. Arvatakse, et tegemist on pseudonüümiga, kelle taga on erineva identiteediga isik või rühmitus. (Burniske, Tatar 2018, 32)

Plokiahel on elektrooniliste tehingute jaoks loodud süsteem, mis ei põhine usaldusel. (Nakamoto 2008, 8) Burniske ja Tatar on oma teoses "Krüptovara: Innovaatilise investori teejuht *bitcoin*'i juurde ja kaugemale" välja toonud, et plokiahela tehnoloogia sai alguse Bitcoinist, mis on platvorm ning kannab programmeeritavat raha. Teisisõnu on see platvormi tehnoloogilisele alusele hajutatud digitaalne pearaamat. (Burniske, Tatar 2018, 24) Zheng, Xie, Dai, Chend ja Wang (2018) on kirjeldanud plokiahelat kui avalikku pearaamatut, kuhu salvestatakse kõik sooritatud tehingud. Tegemist on pidevalt kasvava ketiga, kuhu lisatakse järjest uusi plokkke. Iga plokiahela jaoks luuakse konkreetne krüptoraha, mis jääb alaliseks samasse plokiahelasse. Samuti vajab iga uus krüptoraha eraldi plokiahelat. Iga plokiahelas registreeritud tehing peab olema krüptograafiliselt tõendatud. Krüptograafia tagab selle, et informatsioonile pääsevad ligi vaid need, kellele see on mõeldud. Tehingute tõendamine on aga vajalik selleks, et tagada, et *bitcoinidega* kauplevad inimesed neid päriselt omavad. Krüptograafia määrab ära ka selle, et tehinguid ei liideta ühekaupa, vaid kokkuaheldatud plokkidena. (Burniske, Tatar 2018, 45)

Plokiahelad jagunevad avalikeks (avatud) ja privaatseteks (suletud) plokiahelateks. Avalikud plokiahelad on avatud ja detsentraliseeritud, millega kõik saavad liituda igal ajal. Informatsioon ja ligipääs on kõigile üheselt saadaval ning avalike plokiahelatega käib alati kaasas avalikult kaubeldav krüptoraha. Levinumad näited avalikest plokiahelatest on *bitcoin* ja *ethereum*. Privaatsele plokiahelale pääsevad ligi vaid üksikud partnerid, kellel on selleks volitatud õigus. Volitamata isikutel puudub nii ligipääs informatsioonile kui ka võimalus kantavasse krüptorahasse investeerida. (Wüst, Gervais 2018, 45-46)

Plokiahel pakub ääretul hulgal majanduslikke ning finantsilisi võimalusi. Selle peamised omadused on detsentraliseeritus, püsivus, anonüümsus ja auditeeritavus, mis tähendab, et turvalisus, anonüümsus ja andmete terviklikkus on tagatud ilma, et tehinguid kontrolliks ükski kolmas osapool. Teisisõnu annab see igähele võimaluse ise pank olla, andes kontrolli kõige madalamale tasandile ja võimu ülemaailmselt ka neile, keda pangad ei teeninda. Iga tehtud tehing salvestatakse ning info on kõigile osapooltele üheselt kättesaadav. (Zheng *et al.*, 2018, 357; Burniske, Tatar 2018, 43) Protsess plokiahelas koosneb mitmest sammust, kuna osalejate konsensus peab tehingud kinnitama. Kõigepealt luuakse päring soovitud tehingu kohta, misjärel luuakse päringust uus plokk ning saadetakse see ülemaailmsele võrgustikule tuvastamiseks. Võrk kinnitab tehingu õigsuse kontrollides tehingu üle ja lahendades võrrandi või algoritmi. Pärast tehingu tuvastamist luuakse uus plokk, mis sisaldab uusi andmeid ning see lisatakse

olemasolevasse plokiahelasse. Tehing on kinnitatud ning õnnestunud. (Nakamoto 2008, 3) Tehingu kinnitamisel osalejad saavad tehtud töö eest preemiaks krüptoraha. Seda protsessi kutsutakse kaevandamiseks. (Nakamoto 2008, 10)

Lisaks plokiahela poolt pakutavatele võimalustele, toob see kaasa tehnilisi piiranguid ning väljakutseid. Yli-Huumo, Ko, Choi, Park ja Smolander (2016) on välja toonud seitse peamist plokiahela piirangut: läbilaskevõime, latentsus, suurus ja ribalaius, turvalisus, raisatud ressurs, kasutatavus ning mitme ahela erinevad versioonid. Bitcoin'i läbilaskevõime on 7 tehingut sekundis samal ajal kui *VISA* või *Twitteri* läbilaskevõime on 2000 või 5000 tehingut sekundis. Ühe tehingu sooritamiseks kulub ligikaudu 10 minutit, sest tehingute kontrollimine võtab aega. Tehingute arvu kasvades tekivad probleemid plokiahela suuruse ja uute plokkide loomise kiirusega. Plokiahelal on 51% võimalus sattuda rünnaku alla. Bitcoin'i kaevandamine nõuab tohtul hulgal energiat, 15 miljonit dollarit päevas. Plokiahelat võib olla keeruline kasutada ja väiksematel ahelatel on suurem võimalus rünnaku ohvriks sattuda. (Yli-Huumo *et al.*, 2016, 4)

Maaailma esimene toimiv plokiahela idee teostus sündis jaanuaris 2009, mil Bitcoin asutati. Plokiahela tehnoloogia on tänapäeval niivõrd levinud, et seda on võrreldud ka laiatarbe tehnoloogiatega nagu elekter ja masinõpe. Samuti on üle saja meedia artikli *bitcoin*i surnuks kuulutanud, kuid need väited on osutunud igal korral valeks. (Burniske, Tatar 2018, 24, 43)

1.1.2. Krüptovarade ajalugu ja areng

Üldiselt viidatakse krüptovaradele kui krüptograafiliselt turvatud väärtusele või lepinguliste õiguste digitaalsele esitusele, mida saab elektrooniliselt salvestada ja üle kanda või millega on võimalik kaubelda. (FCA, 2019, 8)

Maaailma esimene krüptovara, *bitcoin*, sündis jaanuaris 2009. Kõige esimene *bitcoin*'i tehing toimus Satoshi Nakamoto ning Hal Finney vahel, kes oli Bitcoin'i üks arendajatest ja eeskostjatest. Esimese vahetuskursi järgi sai ühe *bitcoin*'i ühiku hinnaks kaheksa sajandik senti. Järelikult võrdus üks dollar 1309 *bitcoin*'i. (Burniske, Tatar 2018, 37) *Bitcoin* tegi oma esimese hüppe aastal 2011, mil Silk Road võttis selle maksevahendina kasutusele. Sellele järgnesid *bitcoin*i populariseerivad artiklid, mis tõstsid selle hinda 10 dollarilt 30 dollarile. 2013. aastal järgnes veelgi suurem tõus kui *bitcoin*i väärtus ühe kuuga kaheksa kordseks tõusis. (Burniske, Tatar 2018, 55) *Bitcoin*i buumile järgnes järsk hinnalangus, kui Hiina keskpank selle kasutamisele ranged piirangud kehtestas. Hinnalangus jõudis põhja 2015. aasta jaanuaris, mis andis lisahoogu krüptovara austajatele, kes

olid motiveeritud plokiahela kindlustamisest ja sellele juurde ehitamisest. Madalseisust sai alguse uute plokiahelate, näiteks Ethereumi sünd. (Burniske, Tatar 2018, 56)

Krüptovaluuta tööstus jaguneb neljaks peamiseks sektoriks (Hileman, Rauchs 2017, 21):

- 1) krüptovaluutade vahetamine;
- 2) krüptorahakotid;
- 3) krüptovaluutadega maksmine;
- 4) krüpto kaevandamine.

Krüptovaluutade vahetamine tähendab krüptovaluutade ostu, müüki ning nendega kauplemist ja krüptovaluutadega maksmine nende abil maksete tegemiseks. Krüptorahakotid on mõeldud varade hoiustamiseks ning need on elektroonilised. Krüpto kaevandamine on protsess, mille käigus moodustatakse plokiahelasse uusi tehinguplokke, mille eest saadakse preemiaks erinevaid krüptorahasid, näiteks *bitcoin*'e.

Erinevaid krüptovarasid kutsutakse ka tokeniteks. Financial Conduct Authority (FCA) on jaganud krüptovarad kolme erinevasse kategooriasse:

- 1) maksetokenid;
- 2) investeerimistokenid;
- 3) kasutustokenid.

Maksetokeneid ei väljasta mitte ükski keskne asutus ning need on mõeldud peamiselt maksete tegemiseks või väärtuse ülekandmiseks. Üldjuhul ei kaasne sellega tokeni väljastaja või tema poolt pakutava toote ja/või teenuse suhtes õigusi. Maksetokeneid kasutatakse seega kaupade ja/või teenuste ostmiseks kolmanda isiku käest, kes ei ole tokeneid ise väljastanud. Samuti on tehingu tegemisel puudu vahendaja. Levinuimad näited maksetokenitest on *bitcoin* ja *litecoin*. Investeerimistokenid on instrumendid, mis vastavad kindlaks määratud investeringu määratlusele. Need annavad tokeni omanikule näiteks hääle- ja kasumijaotamise õiguseid, sarnaselt aktsiatele või teistele väärtpaberitele. Kasutustokenid annavad omanikule ligipääsu kindlale tootele ja/või teenusele, mida pakutakse plokiahela tehnoloogial põhineva platvormi kaudu, kuid mille korral ei aktsepteerita maksetokeneid. (FCA, 2019, 7) Kuigi krüptovarasid aktsepteeritakse makseviisina üha rohkem, ei kasutata neid veel peamiste igapäevaste ostude maksevahendina. (Hileman, Rauchs 2017, 26)

Krüptovaluutaturu populaarsus on pidevas kasvus. Aastaks 2017 oli aktiivseid krüptoraha hoidvaid rahakotte umbes 2.8 – 5.8 miljonit ning krüptovaluuta tööstus pakkus tööd rohkem kui 2000 inimesele. Maksed riigilt krüptovaluutadesse moodustasid keskmiselt kaks kolmandikku maksete kogumahust. (Hileman, Rauchs 2017, 27)

1.1.3. Risk ja oodatav tulu

Riski võib majandusteaduses mitmeti määratleda. Üks võimalus riski määratlemiseks on see, et tegelik tulemus erineb oodatust tulemusest. Võib ka määratleda selliselt, et tootlus jääb minimaalsest aktsepteeritavast piirist alla poole või jäädakse mingist rahalisest summast ilma. Samuti võib riski määratleda kui ebakindlust tehtud otsuse üle. (Holton, 2004, 20-22)

Üldiselt käivad risk ja tulu käsikäes – mida suurem risk, seda suurem oodatav tulu. Tegemist ei ole siiski absoluutse üldistusega, sest on olemas alternatiivseid investeeringuid, kus on kõrgem oodatav tulu ja madalam risk. (Vörklaev 2007, 85) Üksiku väärtpaberi risk jaguneb mittesüstemaatiliseks ja süstemaatiliseks riskiks. Mittesüstemaatiline risk on oht, et väärtpaberi tegelik tulu erineb oodatavast tulust tänu spetsiifilistele teguritele, nagu ootamatu käibelangus, juhtimisvead või konkurentide tegevus. Mittesüstemaatiline risk avaldub portfellis üsna juhuslikult ning seda on võimalik väärtpaberitesse investeerides hajutada. Uuringud on näidanud, et lisades portfelli 8 – 15 erinevat väärtpaberit, on võimalik mittesüstemaatiline risk pea täielikult elimineerida. Juhul kui portfellis on iga väärtpaberi osakaal erinev ja suhteliselt väike, on tõenäosus spetsiifiliste probleemide korruga ilmnemiseks väga väike. (Gitman, Joehnk 1988, 187) Kuna teadmised krüptovaluutadesse investeerimisest on alles algusjärgus ja nende hind on pigem spekulatsioon, on võimalik mittesüstemaatilist riski hajutada vaid lisades portfelli ka teisi varaklasse. (Canh *et al.*, 2019, 90) Süstemaatiline risk on oht, et väärtpaberi tegelik tulu erineb oodatavast tulust tänu üldistele arengutele makromajanduses, nagu rahapoliitika, majandustsükkel või kursside kõikumine. Suurema süstemaatilise riskiga on sellised väärtpaberid, mille hind ja tootlus liiguvad turu keskmisega võrreldes võimendatult ning väiksema süstemaatilise riskiga väärtpaberid, mille hind ja tootlus ei sõltu turu keskmisest liikumisest. Madalaima riskiga investeeringuks peetakse arenenud riikide lühiajalisi võlakirju, mille reaalne tootlus sõltub riigist ja valuutast. Selliseid finantsinstrumente on kutsutud ka riskivabaks investeeringuks ning periooditi võib reaalne tootlus olla isegi negatiivne. (Fischer, Jordan 1995, 285; Vörklaev 2007, 85) Kuna mittesüstemaatilist riski on võimalik hajutamiseks vähendada, on ainuke oluline risk

süsteemaatiline risk. (Gitman, Joehnk 1988, 187) Krüptovaluutade süsteemaatiline risk on äärmiselt kõrge. (Canh *et al.*, 2019, 90)

Krüptovarad kujutavad investoritele mitmeid olulisi riske. See võib hõlmata nii ebapiisava teabe olemasolu, finantspettuseid või turu tõrkeid. Investorid võivad kogeda ekstreemseid ja ootamatuid kahjusid ning kuigi ebakindlus kehtib mitmete varaklasside osas, siis eriti tähelepanelik tuleks olla krüptovaradega, mille volatiilsus on tavapärasest kõrgem. (FCA, 2019, 11) Ootamatud turu kõikumised võivad põhjustada järske ja äkilisi muutusi hinnas ning pole haruldane, et krüptovaluuta väärtus langeb kiiresti sadade või isegi tuhandete dollarite võrra. Sama kinnitasid Liu ja Tsyvinski, kes leidsid, et valimi testperioodi jooksul oli krüptovarade päevane, nädalane ja kuine tootlus 0.46%, 3.44% ja 20.44%. Vastavalt sellele oli kaasas käiv risk (standardhälve) 5.46%, 16.50% ja 70.80%. (Liu, Tsyvinski 2021, 2690) Canh, Wongchoti, Thanh ja Thong leidsid, et krüptovarade volatiilsus on tugevalt seotud nende ajaloolise volatiilsusega. Volatiilsus võib olla tingitud ka tugevast korrelatsioonist. (Canh *et al.*, 2019, 95) Uuringud viitavad sellele, et suurim risk on seotud ICOdega (*initial coin offering*), seoses petturlike ICOde ning suure ebaõnnestumise määraga. (FCA, 2019, 11) Suurte krüptokaevandajate jaoks valmistab suurimat muret karm konkurents sama krüptovaluuta kaevandamise osas, samas kui väiksemad krüptokaevandajad on enim mures krüptovaluuta järsu hinnalanguse pärast. (Hileman, Rauchs 2017, 87)

Burniske ja Tatar väidavad, et krüptovara hinnatakse teistmoodi kui traditsioonilisi investeeringuid. Tihtilugu ei anna krüptovarad käivet ega rahavoogu selliselt nagu oleme harjunud ning seetõttu on nende väärtust raske hinnata või välja arvutada. (Burniske, Tatar 2018, 15) Caporale, Gil-Alana ja Plastun leidsid aastal 2015 läbiviidud uuringu käigus, et krüptovaluutaturg on endiselt ebaefektiivne, kuid järjest tõhusamaks muutumas. Nad väidavad, et kauaaegne ja püsiv kauplemine krüptovaluutataturul viitab prognoositavusele, mistõttu saab teatud kauplemisstrateegiaid kasutada ebatavalise kasumi teenimiseks. Sama kinnitavad ka Liu, Tsyvinski ja Wu (2019), kes leidsid oma uuringu käigus, et krüptovaluuta oodatavat tulu mõjutavad kõige enam krüptovaluutaturg, selle suurus ning õige ajastus. Antud kolme teguri mudel loob aluse edukale pika või lühikese strateegiaga investeerimisele. Varasemate uuringute põhjal on kõige efektiivsem krüptovara *bitcoin*. Samuti on see vanim, populaarseim ning likviidsem krüptovara. (Caporale *et al.*, 2015, 146; Brauneis, Mestel 2018, 60)

1.1.4. Krüptovarade hinda mõjutavad tegurid

Krüptovaluuturg on äärmiselt volatiilne ning hinda mõjutavaid tegureid võib olla keeruline mõista. Tihtilugu kasutatakse finantsvarade hindamiseks ning turu käitumise analüüsimise teoreetilise alusena efektiivse turu hüpoteesi (ETH). Siiski näib ETH olevat sobimatu krüptovarade hindamisel. Põhjus on selles, et ETH eeldab varade hindade momentuaalset kajastatavust uue informatsiooni ilmnemisel ning seda, et investorid käituvad ratsionaalselt ja omandavad kogu olemasoleva info erapooletul ning loogilisel viisil. Kuna plokiahela tehnoloogial põhinevad krüptovarad ei käitu sarnaselt teistele varaklassidele, on ebaselge, millised asjaolud krüptovarade hinna kujunemist mõjutavad. Seetõttu kasutatakse krüptovarade hindade prognoosimiseks ETH asemel juhusliku ekslemise hüpoteesi. (Brauneis, Mestel 2018, 58)

Ciaian, Rajcaniova ja Kancs (2016) leidsid, et *bitcoini* hinda mõjutavad põhiliselt vastastikune mõju nõudluse ja pakkumise vahel, investorite huvi ja varaklassi üldine atraktiivsus ning makromajanduslikud tingimused ja arengud finantsmaailmas. Jaapan võttis 2017. aastal *bitcoini* juriidilise makseviisina kasutusele, mis tõi kaasa *bitcoini* järsu hinnatõusu. Samal ajal tõi Hiinas toimunud regulatsioonide muudatus kaasa 100 dollari suuruse hinnalanguse. Uuringud leiavad, et ka tulevikus võivad seadusandlikud, tehnilised ja sotsiaalsed edusammud krüptovaluutaturgu tõsiselt mõjutada. (ElBahrawy *et al.*, 2017, 7)

Canh, Wongchoti, Thanh ja Thong (2019) on kinnitanud, et krüptovaluutade hindades esineb süstemaatilisi kõikumisi. Siiski ei toimu need kõikidel varadel üheaegselt, ega samadel päevadel. Tulemused näitavad, et kõigepealt muutuvad väiksema turukapitalisatsiooniga krüptovarade hinnad ning seejärel suuremad. On seega võimalik, et väiksemate krüptovaluutadega on lihtsam manipuleerida. (Canh *et al.*, 2019, 95) Kooskõlas sellega on ka Brauneis ja Mestel (2018), kes on kinnitanud, et krüptovaluutade hinnad kannatavad likviidsuse kasvades üldise ebaefektiivsuse all.

1.2. Erainvestori elutsüklid ja varaklasside jaotus

Elutsüklite teooria määrab ära selle, kuidas varasid jaotada ja säästa kõige sobilikumal viisil nii, et saavutataks elu jooksul optimaalne tarbimiskäik. Kõige paremini aitab erainvestori varade paigutust selgitada Hersh Shefrini ja Richard Thaleri poolt 1988. aastal loodud käitumispõhine elutsüklite teooria, millest annab autor järgnevas peatükis põhjaliku ülevaate.

1.2.1. Erainvestori elutsükkel ja varade paigutus

Erainvestori elutsükkel mängib varade paigutuse juures tähtsat rolli. Elutsüklite teooria abil on võimalik paigutada oma varasid nii, et moodustuks optimaalne tarbimiskäik. Samuti on selle abil võimalik määrata sobilik riskipositsioon ja finantsvõimenduse tase.

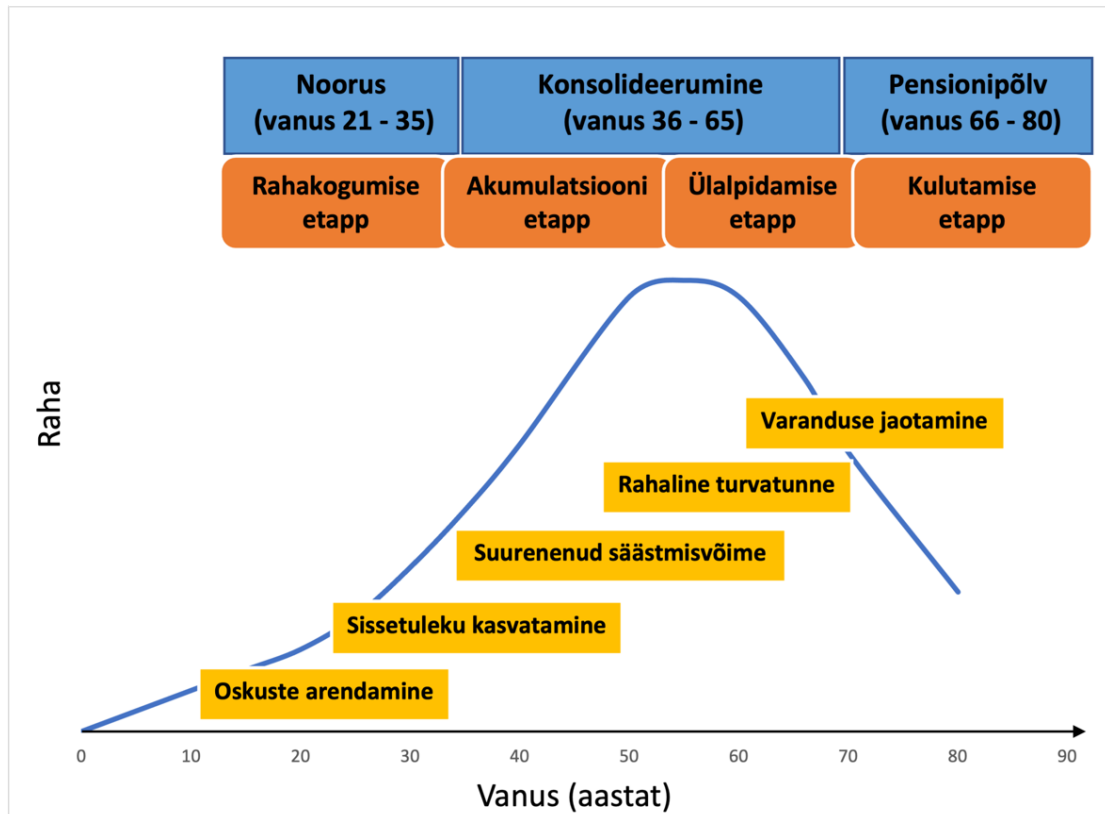
Investori elutsüklil põhinev investeerimispõhimõte soovitab, et suur riskipositsioon võetaks vastu varakult ning seda vähendatakse aegamööda. Ayres ja Nalebuff on oma raamatus „*Lifecycle Investing*“ välja toonud perspektiivi, et kasutades finantsvõimendust noorena, on võimalik investoritel oma portfelli paremini ajas hajutada. Nõnda saavad investorid oluliselt vähendada eluaegset riski, parandades samal ajal tootlust. Seda arvamust jagavad ka Molenaar ja Ponds (2011), kes leiavad, et riskide jagamine noorte ja vanemate põlvkondade vahel toob kaasa investeerimishorisoni pikendamise. Cocco, Gomes ja Maenhout (2005) leiavad oma uuringus vastanduva arvamuse, et võttes varade paigutusel arvesse tulevast palgatulu, ei laenata noorena raha, vaid säästetakse arvestatav summa tuleviku tarbeks. Riskipositsioon peaks tõusma vanuse kasvades või tõusma ja kahanema vastavalt teenitavale palgale. (Ayres, Nalebuff 2010, 8; Gomes, Michaelides 2005, 895) Vaatamata sellele, et klassikalisele põhimõttele on vastandatud, leiavad Cocco ja teised (2005), et arvestades palgatulu ootamatut voogu, kahaneb investori vanuse kasvades ka nõudlus riskantsemate varade järele. Samale järeldusele on jõudnud ka Molenaar ja Ponds (2011).

Erainvestori isiklik rikkus ei koosne ainult finantskapitalist, vaid ka inimkapitalist. Bodie, Merton ja Samuelson on näidanud, et varade jaotusel tuleb lisaks finantsvarade väärtusele arvestada ka allesjäänud inimkapitali nüüdisväärtust, mis on ligikaudu võrdne ülejäänud tööperioodi jooksul saadava palgavooga. Isiklik kogurikkus teatud vanuse juures on nende kahe summa ning see vara on kättesaadav tarbimiseks kogu ülejäänud eluea jooksul. Isiklik rikkus on maksimaalne momendil, kui inimene siseneb tööturule ning väheneb järk-järgult kogu eluea jooksul. Pensionieas (näiteks 65-aastaselt) on kogu inimkapital ära kulutatud, seega pensionile jäämise ajal peab tarbimine toimuma ainult finantskapitali arvelt. (Bodie *et al.*, 1992, 10) Palgatulu ja sellega seonduvat riski ignoreerides võib investor kogeda märkimisväärset kahjumit. (Cocco *et al.*, 2005, 493)

Maginn, Tuttle, Pinto ja McLeavey on õpikus „*Managing investment portfolios: a dynamic process*“ välja toonud, et inimese elutsükli võib jagada neljaks osaks:

- **Rahakogumise etapp.** Rahakogumise etapp loob aluse jõukuse loomiseks, hõlmates nii haridust ja oskuste arendamist kui võimalikku ettevõtte loomist. Seda iseloomustavad noor iga, pikk ajahorisont ja kõrge riskitaluvus. Samuti on selles etapis keskmisest kõrgem vajadus likviidsuse järele, mis võib mingil ajahetkel riskist olulisem olla.
- **Akumulatsiooni etapp.** Akumulatsiooni etappi iseloomustavad nii kasvavad sissetulekud kui ka suurenenud väljaminekud. Selles etapis inimene on haritud ja tööturule asunud, kuid samal ajal tehakse suuri kulutusi nagu kodu ostmise, abielu, laste saamine. Hilisemas etapis suureneb säästmisvõime, sest tulud kasvavad endiselt edasi (edukus karjääriredelil, ettevõtte areng), kuid kulud vähenevad (kodulaen saab makstud, lapsed kasvavad suureks). Suurenenud jõukus ning endiselt piisavalt pikk ajahorisont viivad keskmisest kõrgema riskitaluvuseni.
- **Ülalpidamise etapp.** Ülalpidamise (või varase pensioni) etapis on oluline rahalise turvalisuse ning elustiili säilitamine. Seda iseloomustavad lühem ajahorisont ning väiksem riskitaluvus. Ostujõu säilitamiseks võib vaja minna riskantsemaid varasid.
- **Kulutamise etapp.** Kulutamise etapis kingitakse varandus pärijatele või heategevusorganisatsioonidele. Varajane planeerimine on maksupiirangute tõttu oluline.

Bodie, McLeavey ja Siegel (2007) on omakorda jaganud investori elu kolmeks etapiks: noorus (vanus 21 – 35), konsolideerumine (vanus 36 – 65) ja pensionipõlv (vanus 66 – 80). Esimene periood vastab rahakogumise etappi, teine periood koondab akumulatsiooni ja ülalpidamise etappi ning kolmas periood vastab kulutamise etappi. Lisaks vananemisele mõjutavad investorit erinevad sündmused, mis võivad saata investori edasi järgmisesse etappi (haigus, vigastus) või tuua tagasi varasemasse etappi (uus karjäär, uus perekond). Samuti võib investor teenida teises perioodis kõrgemat või madalamat palka. Elutsüklite teooria eelduseks on see, et investor ei teeni pensionile jäädes mingit sissetulekut ja tal ei ole tehtud enne pensionile jäämist tervisekulutusi. Selles kontekstis ütleb finantsplaan investorile, kui palju ta peaks säästma või laenama ning kuidas investeerida säästetud raha nii täna kui ka tulevikus, et pensioni saabudes kindel summa välja võtta. (Maginn *et al.*, 2007, 26; Bodie *et al.*, 2007, 20)



Joonis 1. Inimese elutsükkel ja varade jaotus

Allikas: Autori joonis Maginn *et al.* 2007, 25-28 ja Bodie *et al.* 2007, 20 põhjal

Elutsüklite teooria põhineb kolmel printsiibil (Bodie *et al.*, 2007, 21 – 22):

- **Põhimõte 1:** Ei tuleks keskenduda finantsplaanile endale, vaid sellega kaasnevale tarbimisprofiilile. Tarbimist saab arvutada: sissetulek miinus säästud tööaastatel ja väljamaksed miinus tervishoiukulud pensionieas.
- **Põhimõte 2:** Finantsvarade abil saab tarbimist elutsükli ühest kohast teise viia. Oletame, et investor soovib nooruses tarbimist suurendada. Vähendades säästusid nooruses ja jättes need muutmata konsolideerumisaastal, saab tarbimist pensionipõlvest noorusesse üle kanda. Vähendades säästmist nooruses ja suurendades säästmist keskeas, saab tarbimist konsolideerumisaastast noorusesse üle kanda.
- **Põhimõte 3:** Üks dollar on investori jaoks väärtuslikum olukorras, kus tarbimine on madal (noorus), kui olukorras, kus tarbimine on kõrge (konsolideerumisaastal).

1.2.2. Varaklasside jaotus erinevates elutsükli etappides

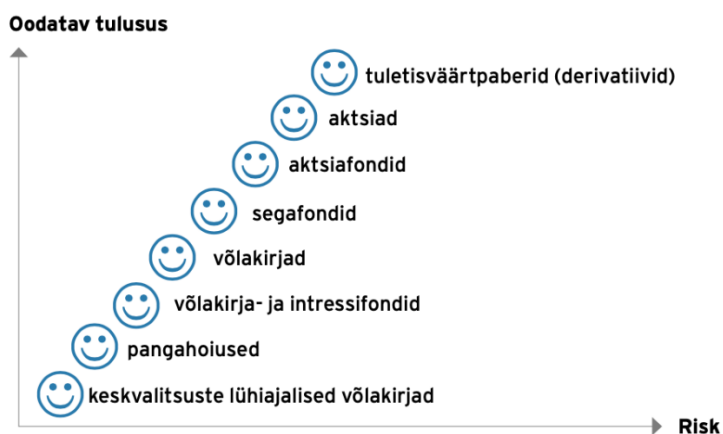
Elutsükli põhiseid portfelle võib iseloomustada kui passiivseid või aktiivseid. Efektiivse turu hüpoteesi pooldajad järeldavad, et ratsionaalne investeerimisstrateegia on osta hajutatud portfelli ja seda hoida, mistõttu on passiivsed hajutatud portfelliid kõige levinumad. Harrison ja Kreps esitavad vastanduva väite, et investorid võivad saavutada oodatava tulususe kasutades nutikaid ja seaduspäraseid kauplemisstrateegiaid. Korraliku tootluse saavutamiseks tuleks investoril oma portfelli aktiivselt hallata ning vastavalt vajadusele korrigeerida. (Harrison, Kreps 1978, 331 – 335) Elutsükli teooria üldtunnustatud põhimõte on see, et noored peaksid investeerima riskantsematesse varadesse (nagu aktsiad või krüptovara) rohkem kui vanemad inimesed. Seda kahel põhjusel. Esiteks, inimkapital on tavaliselt vähem riskantne kui omakapital ja kuna inimkapitali väärtus väheneb üksikisiku vanuse kasvades, peab üksikisik piisava üldise riskipositsiooni saavutamiseks investeerima suure osa oma finantsvarast riskantsetesse varadesse. Teiseks võimaldab nooremate inimeste paindlikkus (näiteks tööjõu pakkumisel) investeerida rohkem riskantsetesse varadesse. (Bodie *et al.*, 2007, 35) Lisaks usutakse, et inimese riskikartlikkus suureneb vanuse kasvades. (Milligan 2005, 1081)

Bodie ja Crane tutvustasid aastal 1997 üldist reeglit, et individuaalse investori aktsiatesse investeerimise osakaal peaks olema arvestatud valemiga $100 - \text{investori vanus}$ järgi. Näiteks kui investori vanus on 30, peaks ta aktsiatesse investeerima 70% kogu portfelli osakaalust ning kui investor on 70-aastane, peaks aktsiate osakaal olema 30%. Samuti on Fagereng, Gottlieb ja Guiso (2017) leidnud, et majapidamised koguvad vara ja sisenevad aktsiaturule võimalikult varakult. Selles faasis investeeritakse suhteliselt suur osa finantsvaradest aktsiatesse. Riskantsemate varade osakaal nooruses jääb veidi alla 50% ning alates 45. eluaastast vähendavad investorid riskantsete varade osakaalu stabiilselt veidi alla ühe protsendipunkti võrra aastas. Samuti leidsid nad, et enamus investoreid lahkuvad aktsiaturult samal perioodil kui tööturult. Pensionile jäämise ajal hoiavad aktsiaturule jäävad investorid riskantsete varade osakaalu 30% juures. (Fagereng *et al.*, 2017, 708) Ebner, Horneff ja Maurer (2022) leiavad omakorda, et esialgu paigutatakse aktsiatesse 38.5% ning osakaalu tõstetakse sujuvalt kuni see on 48.5%. Inimese vananedes hakatakse aktsiate osakaalu langetama, kuni see on pensionieas 39.4%. Kuna pensionile jäämise lähenedes väheneb töötasult saadav tulevane sissetulek, peaks investor riskantsematelt aktsiatelt võlakirjadele üle minema. (Forsyth *et al.*, 2019, 449) Peijnenburg (2018) leiab, et aktsiatesse tuleks kogu elutsükli vältel paigutada keskmiselt 45% varadest. Nooruses on aktsiatesse investeeritud osakaal 59% ning pensionieas 36%. Samuti leiab ta, et noored kipuvad

oma portfelli liiga vähe hajutama. Juhul kui investor on oma uskumustes täiesti kindel, paigutab ta nooruses 100% aktsiatesse. Portfelli hajusus paraneb vanuse kasvades. (Peijnenburg 2018, 1973; Cocco *et al.*, 2005, 506) Milligan (2005) leiab, et lisaks sellele, et vanuse kasvades väheneb aktsiate osakaal portfellis, suureneb fikseeritud tuluga väärtpaberite ning finantsvarade nagu raha ja pangakontode osakaal.

Delfim ja Hoesli (2019) leiavad, et kinnisvarasse investeerimise osakaal on keskmiselt 15% kogu elutsükli vältel. Pikema ajahorisondiga inimestel peaks see jääma 20% ning lühema ajahorisondiga inimestel 10% juurde. Samuti leiavad nad, et võlakirjade osakaal jääb 50% ja 70% vahele ning toorainete osakaal kogu elutsükli vältel 5% juurde.

Volatiilsemate varaklassidega katsetades muutub erinevate varaklasside liikumine portfellis agressiivsemaks. Volatiilsete tegurite kaasamisel, mil oodatav tootlus võib olla negatiivne, jaotatakse portfelist sageli suur või täielik osa aktsiaturule või riskivabadesse investeringutesse. (Michaelides, Zhang 2017, 1205-1207) Krüptovarade lisamine portfelli parandab portfelli tõhusust. Hajutatud portfell, kuhu on lisatud krüptovara, annab parema tulemuse hajutatud portfellist, kuhu ei ole lisatud krüptovara. Seda on näha tulemustest, kus krüptovaradega portfell pakkus sama oodatava tootluse juures väiksemat riski (standardhälvet). *Bitcoin*i osakaal portfellis varieerub 1% ja 90% vahel. Paremate tulemuste saavutamiseks jääb *bitcoin*i optimaalne osakaal 5% ja 20% vahele. (Andrianto, Diputra 2017, 233-237)



Joonis 2. Finantsinvesteeringute paiknemine tulu-riski skaalal
Allikas: Vörklaev 2007, 86

2. MARKOWITZI PORTFELLITEOORIA JA BLACK-LITTERMANI MUDEL

Harry Markowitz on Nobeli majandusauhinna laureaat ja modernse portfelliteooria looja. 1952. aastal esitas Harry Markowitz esimesena artikli investeerimise üldistatud käsitlusest, mida tänapäeval nimetatakse portfelliteooriaks. Black-Littermani mudeli avaldasid esmakordselt Goldman Sachsi majandusteadlased Fischer Black ja Robert Litterman 1990. aastal. Järgmistes peatükkides annab autor ülevaate mõlema mudeli sisust ja eeldustest. Magistritöö neljandas peatükis püüab autor demonstreerida, kuidas on erainvestoril võimalik luua optimaalne investeerimisportfell nendele kahele mudelile toetudes.

2.1. Markowitzi klassikaline portfelliteooria

Mikroökonomikas õpetatakse sageli, kuidas käituvad ettevõtted ja tarbijad ning kuidas see omakorda majandusliku tasakaalu olemust mõjutab. Portfelliteooria erineb tavalisest mikroökonomeetrisest lähenemisest kolmel viisil. Esiteks, portfelliteooria keskendub pigem investoritele kui tootmisettevõtetele ja tarbijatele. Teiseks, see keskendub majandusagentidele, kes tegutsevad ebakindlalt ja kolmandaks, see on teooria, mida saavad otseselt kasutada institutsionaalsed investorid, kellel on piisav arvuti- ja andmebaasiressurs. (Markowitz 1991, 469)

Mikroökonomikas eeldatakse, et tootja teab kauba müügihinda sellel momendil kui kaupa toodetakse. Ebakindlus seisneb selles, et reaalses maailmas on tootmisotsuse, -aja ning müügi vahel viivitus ning toote õige hind võib müügihetkel oluliselt erineda tootmisotsusel planeeritust. Müügihinna määramatusega arvestamine on tootmisotsuse langetamisel oluline, kuid klassikalistes majandusmudelites on see tähelepanuta jäetud. Investorite käitumise analüüsimisel ei saa ebakindlust kõrvale jätta, sest investor, kes teaks kindlalt tulevase tootluse määra, valiks ilmselgelt väärtpaberi, mille tulevane tootlus on kõige kõrgem. Kui mitmel väärtpaberil oleks sama kõrge tulevane tootlus, ei oleks investoril vahet, millist investeringut eelistada. Mitte mingil juhul ei eelistaks investor hajutatud portfelli, mis siiski on tavaline ja mõistlik investeerimispraktika ning

seada just nimelt ebakindluse vähendamise pärast. On selge, et ebakindluse olemasolu on ratsionaalse investeerimiskäitumise analüüsimisel hädavajalik, sest keegi ei oska väärtpaberi tulevast tootlust täpselt ennustada. Ebakindluse ilmnedes tegutsetakse tõenäosus uskumuste järgi ning kuna investorid on mures nii riski kui tootluse pärast, tuleks neid mõõta terviku portfelli ja mitte ainult üksiku väärtpaberi puhul. (Markowitz 1991, 470)

Investorid otsivad teatud reegleid, mida järgida. Harry Markowitzi sõnul loevad investorid oodatavat tootlust, ehk tulu, soovitud sündmuseks ning tootluste varieerumist soovimatuks sündmuseks. Üldiselt annavad väärtpaberid erinevaid tootlusi ning sisaldavad erineval tasemel riski. Portfelli hajutamine võimaldab saavutada paremaid tulu ja riski suhteid kui üksikutesse väärtpaberitesse eraldi investeerides. Riskide hajutamine on äärmiselt kasulik eeldusel, et investor eelistab sarnase tootluse juures madalaimat võimalikku riski. (Markowitz 1952, 156)

Markowitzi portfelliteooria seisneb selles, et investorid eelistavad ligikaudset meetodit, mida on võimalik arvutada, kindlale meetodile, mida ei ole võimalik arvutada. Selle asemel, et otsida täpset ja üldist lahendust, pakub Markowitz võimalikult lähedase lähenemise. Markowitzi mudeli kohaselt valib investor parima portfelli efektiivsete portfelli hulgast. Portfell on efektiivne siis, kui see pakub suurimat võimalikku tootlust sama või madalama riskitaseme juures või väiksemat riski sama või suurema tootluse juures. (Markowitz 1991, 471)

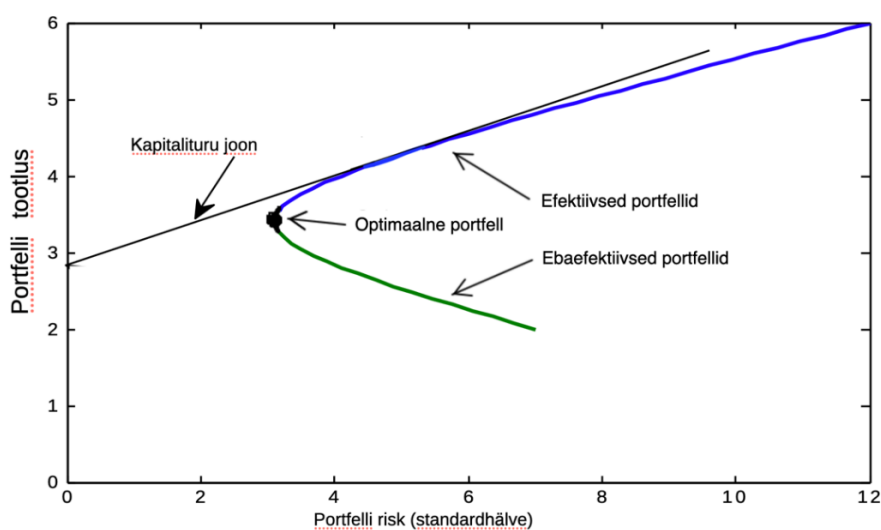
2.2. Portfelliteooria eeldused

Harry Markowitz lähtub ideaalsest maailmast, kus turud on efektiivsed, investorid ratsionaalsed ning puuduvad tehingukulud. Tema põhimõtted on aktsepteeritud kui efektiivse investeerimise lähtealus. Markowitz lähenes hea investeeringu tunnuste otsimisele nagu matemaatik. Kui on teada kogu ajalooliselt saadaolev informatsioon väärtpaberite hinnamuutuste, standardhälvete ning kovariatsioonide kohta, siis mis oleks sellisel juhul parim, mida investeerides teha saaks? Tema põhitees on, et väärtpaberiturud on efektiivsed ning parim, mida investor teha saab, on mitte aktiivselt väärtpabereid analüüsida ja nendega kaubelda, vaid koostada oma maitsele ning soovitavale riskitasemele vastav hajutatud portfell. (Markowitz 1991, 473) Hajutatud portfelli eelis on see, et pikaajaliselt ei ole efektiivsetel turgudel võimalik „turgu lüüa“. Seda kinnitab ka empiiriline kogemus, mille kohaselt on fondihalduritel pikaajaliselt raske turust paremat tulemust saavutada. (Wallick *et al.*, 2013, 11)

Markowitzi portfelliteooria põhieeldused on järgmised (Mangram 2013, 61):

- 1) investorid on ratsionaalsed ja käituvad selliselt, et tootlust teatud sissetuleku ja/või rahalise seisu juures maksimeerida;
- 2) investorid on nõus suuremat riski aktsepteerima ainult siis kui see toodab neile suuremat tulu;
- 3) investoritel on vaba ja õigeaegne ligipääs kogu asjakohasele teabele, mis on seotud nende investeerimisotsustega;
- 4) investoritel on võimalus piiramatus koguses riskivabalt kapitali laenata;
- 5) turg on efektiivne;
- 6) turgudel ei ole tehingukulusid ega investoritel maksukohustust;
- 7) portfelli on võimalik valida väärtpapereid, mille individuaalne tootlus ei sõltu muudest portfelli investeringutest.

Portfelliteooria idee seisneb selles, et investoril on hajutatud portfell, mis sisaldab erinevaid väärtpapereid. Üldine järeldus on ka see, et portfellis olevat väärtpaberit ei tasu vaadelda eraldi, vaid osana kogu hajutatust portfellist. Ideaalis lisab investor väärtpaberi oma portfelli vaid sellisel juhul kui see muudab portfelli paremaks. See tähendab, kas vähendab sama tootluse juures portfelli koguriski või suurendab oodatavat tootlust. Portfelliteooria soovitab passiivset „osta ja hoi“ strateegiat, eeldusel, et turud on piisavalt efektiivsed. (Kunsing, Tuusis 1995, 7)



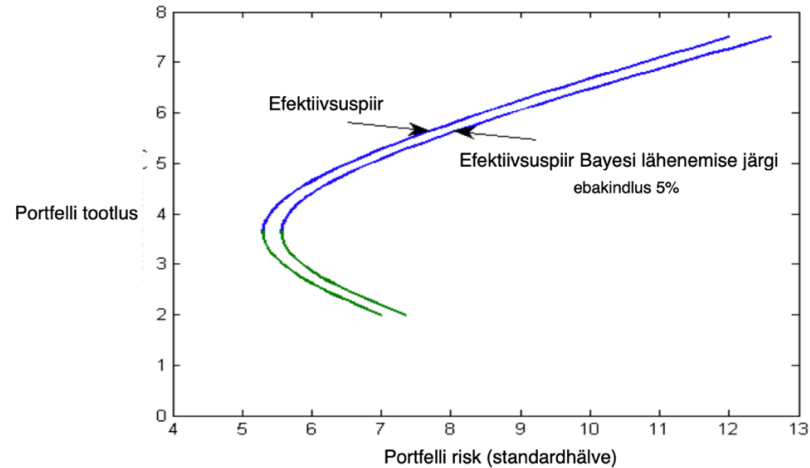
Joonis 3. Portfelli valik Markowitzi portfelliteooria põhjal
Allikas: Autori joonis Walters 2011, 9 järgi

Markowitzi klassikalise portfelliteooria mudel on saanud palju kriitikat selle kohta, et praktikas ei tööta see sama hästi kui teoorias. Kõrge oodatava tootluse ning madala riskiga (standardhälbega) väärtpabereid ülehinnatakse, samal ajal kui madala oodatava tootluse ning kõrge riskiga (standardhälbega) väärtpabereid alahinnatakse. Sellest tulenevalt võib minimaalne muutus ühe väärtpaberi keskvaartuses põhjustada suure erinevuse varaklasside kaaludes. Valed hinnangud moodustavad varaklasside kaalude määramisel vigu, mis tähendab, et optimeeritud portfell ei ole piisavalt efektiivne. Nende probleemide vähendamise jaoks loodi Black-Littermani mudel. (Best, Grauer 1991, 323; Idzorek 2007, 1; Fabozzi *et al.*, 2006, 1)

2.3. Black-Littermani mudel

Black-Littermani mudel on matemaatiline portfelli jaotamise mudel, mis töötati välja portfelliavalikul esineva probleemi lihtsustamise jaoks. See on analüütiline vahend, mida kasutatakse varade jaotuse optimeerimiseks investori riskitaluvuse ja turunägemuse piires. (Idzorek 2007, 1 – 2) Fabozzi, Focardi ning Kolmi (2006) sõnul annab Black-Littermani mudel palju kindlama ja mitmekesisema portfelli kui Markowitzi klassikalise portfelliteooria mudel.

Black-Littermani mudeli abil on võimalik luua stabiilseid, keskmise varieeruvusega tõhusaid portfelle, mis põhinevad investori unikaalsetel arusaamadel. Mudel lähtub neutraalsest positsioonist võttes aluseks Markowitzi kaasaegse portfelliteooria ning seejärel täiendavalt arvesse investorite seisukohti, et määrata kindlaks, kuidas peaks lõplik varade paigutus mudelportfelli kaaludest erinema. Mudel kasutab *Bayesi* lähenemist, et kombineerida investori ootused ühe või mitme vara oodatava tootluse kohta ning hindab seda turutasakaalust lähtuva oodatava tootlusega, et moodustada uus kombineeritud hinnang oodatava tootluse suhtes. Eeldatakse, et oodatavad tootlused on juhuslikud suurused, mis ei ole vaadeldavad. Pärast seda viiakse läbi erinevuse hindamine ning optimeerimine dispersioonanalüüsi abil, et riskitaluvust arvestades maksimeerida oodatav tootlus. (Idzorek 2007, 1 – 4)



Joonis 4. Riskiga korrigeeritud efektiivsuspiir Bayesi lähenemise järgi
Allikas: Autori joonis Walters 2011, 12 järgi

Mudel pakub kaks olulist lahendust varade jaotamise probleemi suhtes. Esiteks pakub mudel välja intuiitiivse, tasakaalustatud turuportfelli, mis on varade tootluse hindamisel lähtepunktiks. Portfelli loomisel on aluseks finantsvarade hindamise mudel (*Capital Asset Pricing Model - CAPM*). Teiseks pakub mudel selget viisi, kuidas investorite seisukohti tootluse osas täpsustada ning nende seisukohti eelneva informatsiooniga kokku sobitada. Investorite seisukohad võivad olla kas osalised või täielikud ning need võivad hõlmata nii suvalisi kui kattuvaid varaklasside kogumeid. Lisaks annab mudel hinnanguid oodatava tootluse ja sellele vastava tõenäosuse osas. (Walters 2014, 2)

Black-Littermani mudelile orienteeritud investeerimisprotsess koosneb järgmistest sammudest (Walters 2014, 53):

- 1) määrata, millistest varaklassidest koosneb turg;
- 2) arvutada varade ajalooline korrelatsioonimaatriks;
- 3) määrata igale varaklassile seda vastav turukapitalisatsioon;
- 4) arvutada tasakaalustatud turuportfelli oodatav tootlus CAPM abil;
- 5) määrata ootused turu osas;
- 6) kombineerida tasakaalustatud ootused investori ootustega kasutades Black-Littermani mudelit;
- 7) optimeerida portfelli kasutades Black-Littermani mudeli abil genereeritud hinnanguid;
- 8) valida välja kõige tõhusam portfelli, mis vastab investori riskikartlikkuse tasemele.

Black-Littermani mudeli nõrkusteks võib lugeda selle, et mudelit peetakse komplektseks ning selle jaoks vajalike sisendite loomist keeruliseks. Samuti ei ole sisendite loomist varasemas kirjanduses põhjalikult selgitatud. (Idzorek 2007, 2) Sarnaselt Markowitzi portfelliteooriale on ka Black-Littermani mudeli prognoosid vaid arvamused ja hinnangud, mis tuginevad subjektiivsele sisendile. Näiteks viib liiga optimistlik arvamus ühe varaklassi osas selle portfellis suurema kaaluni ning varaklassi ootamatu käitumise korral võib see kaasa tuua suurema kahjumi. Klassikalise portfelliteooria alusel oleks sellisel varaklassil portfellis madalam kaal. Black-Littermani mudeli põhjal loodud portfelli vajab järjepidevat tasakaalustamist ja optimeerimist.

Investori ootuste kohaselt tekitab kõrgem oodatav tootlus kõrgemat riskantsete varaklasside osakaalu portfellis. Nende hulka kuuluvad varaklassid nagu aktsiad ja krüptovarad. Vastavalt vähendab nende osakaalu madal oodatav tootlus. (Michaelides, Zhang 2017, 1184) Magistritöös kasutusel olevad ootused on määratud tuginedes varaklasside ajaloolisele tootlusele ning elutsükli teooriast tulenevatele eeldustele.

3. METOODIKA JA ANDMED

Käesoleva magistritöö eesmärk on leida erainvestori portfelli kõige optimaalsem krüptovarade osakaal, arvestades sealhulgas investori elutsükli. Magistritöö põhineb kvantitatiivsel analüüsil. Investori optimaalse investeerimisportfelli koostamisel võetakse aluseks Markowitzi moderne portfelliteooria, kus tulu arvutatakse varaklasside ajaloolise tootluse alusel, riski arvutatakse ajaloolise tulu varieerumisega (standardhälve) ja arvesse võetakse varaklasside omavahelist seost ehk kovariatsiooni. Portfelliteooria aluseks on käitumispõhine elutsükli teooria, mistõttu võetakse portfelli koostamisel arvesse investori vanust. Täiendavalt on võetud kasutusele Black-Littermani mudel, mis on matemaatiline portfelli jaotamise mudel.

Magistritöö peamine uurimisküsimus on järgmine:

Kui suure osakaalu portfelli varadest peaks erainvestor investeerima krüptovaradesse, arvestades tema elutsükli?

Toetudes varasemale akadeemilisele kirjandusele ja elutsükli teooriale, püstitatakse magistritöö eesmärgi täitmiseks järgmised hüpoteesid:

H1: Krüptovarade osakaal portfellis sõltub investori elutsükli faasist

H2: Investoril on mõistlik omada krüptovarasid elutsükli varases faasis

H3: Krüptovarade lisamine portfelli suurendab koguportfelli riski ja oodatavat tootlust

Esimesed kaks hüpoteesi põhinevad elutsükli teooria üldtunnustatud põhimõttel, mis toob välja, et noored peaksid investeerima riskantsematesse varadesse rohkem kui vanemad inimesed. Lisaks toetab seda uskumus, et inimese riskikartlikkus suureneb vanuse kasvades. (Milligan 2005, 1081) Kolmanda hüpoteesi eelduseks on teadmine, et krüptovarade süstemaatiline risk on äärmiselt kõrge (Canh *et al.*, 2019, 90). Kuna töös kasutatavad mudelid eeldavad, et väärtvabereid tuleks vaadata osana koguportfelli, jõudis autor kolmanda hüpoteesi formuleerimiseni.

Järgnevides peatükkides annab autor ülevaate magistritöös kasutatud mudelite matemaatilistest detailidest ja praktilistest kasutamise võimalustest ning töö aluseks olevatest andmetest.

3.1. Kasutatav metoodika

Investorid soovivad teada saada vara tuleviku tootlust, mis on riskiga korrigeeritud. Selle aluseks võetakse ajalooliselt realiseeritud tootlus, mis arvutatakse ajaloolise hinna alusel. Aritmeetiline keskmine tootlus on alati kõrgem kui geomeetriline keskmine tootlus. Ajaloolise tootluse hindamisel on õigem kasutada geomeetrilist keskmist tootlust. Geomeetriline keskmine tootlus leitakse valemiga (Fischer, Jordan 1995, 69):

$$(3.1) \quad G = [(1 + R_1) \times (1 + R_2) \times (1 + R_3) \dots (1 + R_n)]^n - 1$$

Ükskõik millist investeerimisotsust hinnates, on alguskohaks alati investori finantsilised võimalused ja eesmärgid, ajaline horisont ning riskitaluvus. Markowitzi klassikaline portfelliteooria mudel lähtub portfelli oodatavast tulumäärast ja selle standardhälbest. Lisaks kasutatakse üksiku väärtpaberi tootluse korrelatsiooni kas teise väärtpaberi tootlusega või turu kui terviku tootlusega. (Gitman, Joehnk 1988, 645)

Portfelli oodatav tulumäär leitakse valemiga (Markowitz 1991, 75):

$$(3.2) \quad E(R_p) = \sum_{i=1}^m w_i E(R_i)$$

kus w_i – i-nda vara osatähtsus portfellis
 m – portfellis olevate varade arv
 $E(R_i)$ – i-nda vara oodatav tulumäär

Markowitz võttis oodatava tulumäära standardhälbe kasutusele investeerimis-riski kriteeriumina. Seeläbi andis ta riskile arvulise ja objektiivse väärtuse. Aktsiate riski mõõtmiseks saab kasutada väärtpaberi tulumäära standardhälvet (SD), mis väljendab koguriski. Oodatavale tootlusele tuginedes võib standardhälvet hinnata üle võimalike tulevikustsenaariumide ja tõenäosuste järgmise valemiga (Kunsing, Tuusis 1995, 31)

$$(3.3) \quad SD = \sigma = \sqrt{VAR} = \sqrt{p_1(R_1 - E(R))^2 + p_2(R_2 - E(R))^2 + \dots + p_n(R_n - E(R))^2}$$

kus σ – tootluse standardhälve
 R_i – perioodi i oodatav tootlus
 P – tõenäosus

Ajaloolisele tootlusele tuginedes võib standardhälvet hinnata järgmise valemiga (Sander 1999, 34),

$$(3.4) \quad SD = \sigma = \sqrt{VAR} = \sqrt{\frac{(R_1 - \bar{R})^2 + (R_2 - \bar{R})^2 + \dots + (R_T - \bar{R})^2}{n-1}}$$

kus σ – tootluse standardhälve
 \bar{R} – ajalooline keskmine tootlus
 R_i – perioodi i tootlus
 n – perioodide arv

Kogu portfelli oodatava tulumäära standardhälve leitakse valemiga (Markowitz 1991, 75):

$$(3.5) \quad E(\sigma_p) = \sqrt{\sum_{i=1}^m w_i^2 * E(\sigma_i^2) + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m w_i * w_k * E(cov_{ik})}$$

Kovariatsioon näitab tulumäärade ühiselt liikumise määra ja suunda. Positiivne kovariatsioon näitab, et tulumäärad liiguvad samas suunas ning negatiivne kovariatsioon viitab sellele, et tulumäärad liiguvad erinevas suunas. Kovariatsiooni arvutamiseks kasutatakse valemit (Fischer, Jordan 1995, 563):

$$(3.6) \quad cov_{xy} = \frac{1}{N} \sum^N [R_x - E(R_x)][R_y - E(R_y)]$$

kus cov_{xy} – kovariatsioon vara x ja y vahel
 R_x – vara x tegelik tootlus
 R_y – vara y tegelik tootlus
 $E(R_x)$ – vara x oodatav tootlus
 $E(R_y)$ – vara y oodatav tootlus
 N – vaatluse all olevate perioodide arv

Seose tugevuse hindamiseks kasutatakse korrelatsioonikordajat, mis on leitav valemiga (Fischer, Jordan 1995, 564):

$$(3.7) \quad \text{corr}_{12} = E(\text{cov}_{12}) / (E(\sigma_1)) * (E(\sigma_2))$$

Korrelatsioon võib jääda ainult väärtuste -1 ja 1 vahele. Korrelatsioon väärtusega -1 viitab täiuslikule negatiivsele seosele ning korrelatsioon väärtusega 1 täiuslikule positiivsele seosele. Väärtus 0 näitab, et seos puudub.

Teiseks mõõdikuks on aktsia beeta, mis väljendab süstemaatilist riski ehk portfelli tootluse muutumist turutootluse muutumise suhtes. Kui beeta on suurem kui 1, on investering volatiilsem kui indeks. Kui beeta on väiksem kui 1, viitab see vähemvolatiilsele investeringule. Riskivaba investeringu beeta on võrdne nulliga. (Vörklaev 2007, 97) Portfelli baasil on riskimõõdikuteks ka Sharpe'i suhtarv, mis mõõdab kui palju lisatootlust võrreldes riskivaba määraga on riskiga arvestades võimalik teenida. Mida suurem on Sharpe'i suhtarv, seda efektiivsem on portfelli. Sharpe'i suhtarvu leidmiseks kasutatakse valemit (Fischer, Jordan 1995, 665-666):

$$(3.8) \quad S_t = \frac{(\bar{r}_t - r^*)}{\sigma_t}$$

kus \bar{r}_t – portfelli keskmine tulumäär
 r^* – riskivaba tulumäär
 σ_t – portfelli standardhälve

Pärast oodatava tulumäära ja selle standardhälbe leidmist saab koostada dispersiooni-kovariatsioonimaatriksi, mida kasutatakse portfelli koguriski arvutamiseks. Seejärel on võimalik luua varaklasside korrelatsioonimaatriksi. Pärast maatriksite loomist arvutatakse portfelli oodatava tulumäära, selle standardhälbe ning Sharpe'i suhtarv, mille abil arvutatakse optimaalse portfelli tootlus ja kogurisk. Lõpetuseks pannakse peale elutsükli teooriast tulenevad kitsendused ja lahendatakse optimeerimisülesanne, mille tulemuseks on optimaalne investeerimisportfell.

Black-Littermani mudel kasutab turutasakaalul põhineva portfelli leidmiseks finantsvarade hindamise mudelit (*Capital Asset Pricing Model – CAPM*), mis on leitav järgmise valemiga (Fama, French 2004, 29):

$$(3.9) \quad \text{CAPM} = R_i = R_f + \beta(R_m - R_f)$$

kus R_i – väärtpaberilt i oodatav tootlus
 R_f – riskivaba investeringu tootlus
 R_m – turu oodatav keskmine tootlus
 β – beeta, mis mõõdab väärtpaberi süstemaatilise riski taset
 $(R_m + R_f)$ – turu riskipreemia

CAPM mudel kirjeldab seda, millist tootlust on investoril väärtpaberilt oodata juhul kui ta selle oma hajutatud portfelli lisab. Mudeli arvutamisel võetakse aluseks S&P 500 indeks. Neutraalne tootlus tuletatakse mudelist vastupidise optimeerimismeetodi abil ja tootluste vektor moodustatakse kasutades valemit (Idzorek 2007, 3):

$$(3.10) \quad \Pi = \lambda \Sigma w_{mkt}$$

kus Π – turutasakaalu seisundi ülemäärase tootluse vektor (N-mõõtmeline vektor)
 λ – riskikartlikkuse koefitsient
 Σ – oodatava tootluse kovariatsioonimaatriks (N x N maatriks)
 w_{mkt} – varade turukapitalisatsiooni kaal (N x 1 veergude vektor)

Riskikartlikkuse koefitsient iseloomustab oodatavat riski ja tootluse vahelist kompromissi. Selle määra puhul loobub investor teatud tootlusest väiksema varieeruvuse saavutamiseks. Vastupidises optimeerimismeetodis kasutatakse riskikartlikkuse koefitsienti pöördelise ülemäärase tootluse mõõtmiseks. Kaalutud pöördeline tootlus on võrdne kindlaksmääratud tururiski preemiaga. Mida suurem riskikartlikkuse koefitsient (ehk ülemäärane tootlus), seda suurem on oodatav kogutootlus. Kovariatsioon Σ leitakse ajalooliste andmete põhjal. Kui asendada esimesest valemist turutasakaalu seisundi ülemäärase tootluse vektor Π mis tahes oodatava ülemäärase tootlusega μ , saame uue valemi, mis lahendab piirangute maksimeerimise probleemi (Idzorek 2007, 5):

$$(3.11) \quad w = (\lambda \Sigma)^{-1} \mu, \quad \text{kui } \mu \text{ ei võrdu } \Pi, \text{ siis ei võrdu ka } w \text{ ja } w_{mkt}.$$

Magistritöös kasutatakse tähist K vaadete arvu kirjeldamiseks ning tähist N valemis sisalduvate varade arvu kirjeldamiseks. Black-Littermani valem ehk uue kombineeritud tootlusvektori ($E[R]$) valem on järgmine (Idzorek 2007, 6):

$$(3.12) \quad E[R] = [(\tau\Sigma)^{-1} + P'\Omega^{-1}P]^{-1} [(\tau\Sigma)^{-1}\Pi + P'\Omega^{-1}Q]$$

kus $E[R]$ – uus kombineeritud tootlusvektor (N-mõõtmeline vektor)

τ – mõõdik

Σ – oodatava tootluse kovariatsioonimaatriks (N x N maatriks)

P – maatriks, mis tähistab vaadetes osalevaid varasid (K x N maatriks või 1 x N reavektor vaate erijuhtumi korral)

Ω – väljendatud vaadete veaterminite diagonaalne kovariatsioonimaatriks, mis kujutab iga vaate määramatust (K x K maatriks)

Π – turutasakaalu seisundi ülemäärase tootluse vektor (N-mõõtmeline vektor)

Q – vaadete vektor (K-mõõtmeline vektor)

Enamasti on investoritel kindlad uskumused ja vaated, mis erinevad turutasakaalu seisundist ja sellelt tulenevast tootlusest. Black-Littermani mudel võimaldab selliseid seisukohti absoluutselt või suhteliselt arvesse võtta. Näiteks võib investori absoluutne vaade olla, et rahvusvahelise arenenud aktsia absoluutne ülemäärane tootlus on 5.25%. Igale vaatele määratakse seda vastav usaldatavus, mis näidise korral oleks 25%. Suhteline vaade võib omakorda olla, et USA kasvuaktsiad toodavad 2% võrra paremat tootlust kui USA väärtusaktsiad. Vaatele vastav usaldatavus 65%. Mudel ei nõua, et investor esitaks kindla vaate iga portfellis oleva vara kohta. Magistritöös kasutatakse kaheksa varaklassiga portfelli, kuid vaadete arv K võib olla näiteks 3. Pärast vaadete formuleerimist, on vaja üle minna valemis 3.12 nõutud sisenditele. Kui vaateid on 3, on vaadetele vastav vektor (Q) 3 x 1 vektor. Vaadete ebakindlus väljendub juhusliku, tundmatu, sõltumatu normaaljaotusega veaterminivektorist (ε), milles keskmine väärtus on 0 ja kovariatsioonimaatriks Ω . Vaated esitatakse seega kujul $Q + \varepsilon$ (Idzorek 2007, 10):

$$(3.13) \quad Q + \varepsilon = \begin{bmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_k \end{bmatrix}$$

Juhul kui investor on oma vaates 100% kindel, väljendub veatermin (ε) positiivse või negatiivse väärtusena, mis on erinev kui 0. Sellisel juhul jääb veaterminivektor valemist välja, kuid valemisse lisatakse iga veatermini dispersioon (ω), mis on absoluutne erinevus veatermini (ε) oodatavast väärtusest. Dispersioonid moodustavad diagonaalse kovariatsioonimaatriksi Ω , mille

diagonaalväljadel on väärtus 0, sest mudel eeldab, et vaated on üksteisest sõltumatud. Vaadete määramatust näitab veaterminite varieeruvus. Mida suurem on dispersioon (ω), seda suurem on vaatele vastav ebakindlus. Hüpototeetilist olukorda esitatakse kujul (Idzorek 2007, 11):

$$(3.14) \quad \Omega = \begin{bmatrix} \omega_1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \omega_k \end{bmatrix}$$

Investori väljendatud vaated (vektor Q) sobitatakse konkreetsete varadega (maatriks P). Iga väljendatud vaate tulemuseks on $1 \times N$ reavektor, mille tulemusena sünnib $K \times N$ maatriks. Kolme vaate korral oleks tegemist 3×3 maatriksiga. (Idzorek 2007, 11)

$$(3.15) \quad P = \begin{bmatrix} P_{1,1} & \cdots & P_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{k,1} & \cdots & P_{k,n} \end{bmatrix}$$

Kaalude määramisel kasutatakse Thomas Idzoreki (2007) poolt loodud turukapitalisatsiooni skeemi, kus iga vara kaal on proportsioonis turukapitalisatsiooniga. Paremaid tulemusi saavutavatele varaklassidele määratakse positiivsed kaalud ning madalamaid tulemusi saavutavatele negatiivsed kaalud. Iga rida vastab ühele vaatega kombineeritud portfelli. Varade kaalud annavad ühe rea peal kokku 100% ehk 1.

Pärast maatriksi P määratlemist tuleb arvutada iga üksiku vaatel põhineva portfelli dispersioon. Dispersioon leitakse valemiga (Idzorek 2007, 13):

$$(3.16) \quad \sigma^2 = p_k \Sigma p_k$$

kus p_k – üks maatriksi P ($1 \times N$) reavektor, mis vastab kindlale vaatele
 Σ – oodatava tootluse kovariatsioonimaatriks ($N \times N$ maatriks)

Iga vaatega korrigeeritud portfelli dispersioon näitab kindluse taset teatud vaate usaldamise osas. Teavet kasutatakse ka selleks, et määrata uuesti ära diagonaalse kovariatsioonimaatriksi (Ω) elemendid. Mida suurem on kindlus väljendatud vaadete osas, seda rohkem mõjutavad need uut vektorit. Kui kindlus puudub, nihkub uus vektor tagasi turutasakaalu tootluse vektori (Π) suunas.

Litterman ja He (1999) on mõõdiku (τ) välja arvutamiseks kasutanud valemit:

$$(3.17) \quad \frac{\omega}{\tau} = p_k \Sigma p_k, \quad \text{millest tulenevalt saame veaterminite kovariatsioonimaatriksi:}$$

$$(3.18) \quad \Omega = \begin{bmatrix} (p_1 \Sigma p_1) * \tau & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & (p_k \Sigma p_k) * \tau \end{bmatrix}$$

Selle meetodi järgi arvutades ei ole mõõdiku tegelik väärtus oluline. Mudelisse sisestatakse vaid ω ja τ vaheline suhe, ning mõõdik ise ei mõjuta uut kombineeritud tootlusvektorit $E[R]$. Pärast mõõdiku ja kovariatsioonimaatriksi määramist saab lisada kõik sisendid Black-Littermani mudelisse ja tuletada sealt uus kombineeritud tootlusvektor $E[R]$. (Idzorek 2007, 15) Uued optimaalsed kaalud arvutatakse kasutades spetsiaalset tööriista *MS Excel SOLVER*.

3.2. Kasutatavad andmed

Uuringu läbiviimiseks luuakse dünaamiline mudel, kuhu sisestatakse lisaks krüptovaradele ka varad nagu väikese ja suure turukapitalisatsiooniga aktsiad, riikide ja ettevõtete võlakirjad, kinnisvara, toorained ning raha ja ekvivalendid. Autor hankis varaklasside ajaloolised hinnad lehekülgedelt Federal Reserve Bank of St. Louis (9.3.2022), Nasdaq Data (9.3.2022), Finance Yahoo (9.3.2022) ja Coin Market Cap (9.3.2022). Magistritöö koostamisel kasutatakse kuiseid andmeid, sest need annavad põhjalikuma üldpildi varaklasside volatiilsusest ning tootlusest. Mudelisse valitud varaklasse esindavad:

- **Madala turuväärtusega aktsiad.** Autori hinnangul jäljendab madala turuväärtusega aktsiaid kõige paremini Russell 2000 indeks, mis põhineb USA börsil ning koosneb ligikaudselt 2000 erinevast väikeettevõtete aktsiast. Väärtpaberid põhinevad turukapitalisatsioonil ning nimekirja uuendatakse igal aastal, et suuremad aktsiad ei moonutaks väikeettevõtete tootlust ja omadusi. Indeksisis olevad aktsiad katavad umbes 10% kogu USA aktsiaturu väärtusest. Indeks panustab kõige enam finants-, tervishoiu- ja tööstussektoritesse. Mahu poolest kuuluvad indeksi esikolmikusse Ovintin Inc, Bj's Wholesale Club Hdlg ja Amc Entertainment. (FTSE Russell, 2022)

- **Kõrge turuväärtusega dividendiaktsiad.** Autori hinnangul esindab kõrge turuväärtusega dividendiaktsiaid kõige paremini Russell 1000 indeks, mis koondab kokku 1000 USA börsi suurimate ettevõtete aktsiad. Sarnaselt Russell 2000 indeksile, valitakse indeksisse väärtpabereid turukapitalisatsiooni alusel ning nimekiri uueneb igal aastal. Indeksis olevad aktsiad katavad umbes 93% kogu USA aktsiaturu väärtusest. Indeks panustab kõige enam tehnoloogia-, jaekaubandus- ja tööstussektoritesse. Mahu poolest kuuluvad indeksi esikolmikusse Apple Inc, Microsoft Corp ja Amazon Com Inc. (FTSE Russell, 2022)
- **Ettevõtete võlakirjad.** Autori hinnangul jäljendab ettevõtete võlakirju kõige paremini Vanguard Corporate Bond indeks, mis sisaldab USA börsil noteeritud ettevõtete võlakirju. Võlakirjad on tähtajaga 5 – 10 aastat. Indeksis on esindatud peamiselt tööstus-, kommunaalteenuste- ja finantssektori ettevõtted. (The Vanguard Group, 2022)
- **Riigi võlakirjad.** Autori hinnangul esindab riigi võlakirju kõige paremini Vanguard Treasury indeks, mis sisaldab USA 3 – 10 aastase tähtajaga võlakirju. Indeks ei sisalda inflatsiooni eest kaitstud väärtpabereid. Seda peetakse madala riskiga investeringuks, sest USA valitsus toetab portfellis olevaid võlakirju. (The Vanguard Group, 2022)
- **Kinnisvara.** Autori hinnangul jäljendab kinnisvara varaklassi kõige paremini Vanguard Real Estate indeks, mis investeerib kinnisvarafondidesse ja ettevõtetesse, mis ostavad büroohooneid, hotelle ning muud kinnisvara. Suurima osa indeksist moodustavad eriotstarbelised kinnisvarafondid, mis omavad ja haldavad kinnisvara ning koguvad üürnikelt tasu. Mahu poolest järgnevad elamu- ja tööstusfondid. Indeksilt võib oodata suuremat dividenditulu, kuid sellega kaasneb kõrgem risk. Kuna indeks investeerib pelgalt kinnisvarasektorisse, on selle fookus kitsam ja tulemusena võib tootlus olla volatiilsem kui näiteks laiemalt hajutatud aktsiafondidel. (The Vanguard Group, 2022)
- **Toorained.** Autori hinnangul esindab toorainete varaklassi kõige paremini Vanguard Materials indeks, mis sisaldab USA börsil noteeritud materjalitööstuse ettevõtete aktsiaid. Ettevõtted töötlevad 16 erineva sektori tooraineid, millest suurima osa moodustavad spetsiifilised kemikaalid, tööstusgaasid ning paberpakendid. Sektoritena on esindatud ka erinevad metallid nagu kuld, hõbe, vask ja alumiinium. Indeksit iseloomustavad kõrge volatiilsus ja sellega kaasnev kõrgendatud risk. (The Vanguard Group, 2022)
- **Raha ja ekvivalendid.** Raha ekvivalent on väga likviidne ja kergesti konverteeritav väärtpaber, mille tähtaeg on kuni kolm kuud. Autori hinnangul esindab raha ja ekvivalente kõige paremini USA 3 – kuuline deposiithoius.
- **Krüptovarad.**

Võimalikult adekvaatse tulemuse saamiseks viiakse läbi kaks analüüsi. Baasanalüüs viiakse läbi ainult *bitcoin*'iga, kuna sellel on kõige pikem aegrida ja vara on ka läbinud eelmise finantskriisi aastal 2009. Samuti on *bitcoin* varasemate uuringute põhjal kõige efektiivsem ja likviidsem krüptovara. Teised krüptovarad finantskriisi läbi teinud ei ole, mistõttu on *bitcoin*'i ajaloolised andmed äärmiselt väärtuslikud. Lisaanalüüs viiakse läbi kuuest suurimast krüptovaradest koostatud indeksiga, kuhu kuuluvad *bitcoin* (BTC), *ethereum* (ETH), *tether* (USDT), *binance coin* (BNB), *XRP* (XRP) ja *cardano* (ADA). Kuus suurimat krüptovara on valitud turukapitalisatsiooni alusel ning lähtudes sellest, millistel varadel on ühtlasi ka piisavalt pikk ajalugu. Indeksi puhul koostatakse aegrida alates 2017 aastast ning võrreldakse seda teiste varaklassidega. Esimese analüüsi vaadeldavaks perioodiks on seega 2009 – 2021 ning teise analüüsi vaadeldavaks perioodiks 2017 – 2021. Andmete töötlemisel ja arvutamisel kasutatakse andmetöötlusprogrammi *MS Excel*.

4. OPTIMAALSE INVESTEERIMISPORTFELLI KOOSTAMINE

Markowitzi klassikalise portfelliteooria ning Black-Littermani mudeli abil on võimalik luua portfell, mis jääb investori riskipiiridesse, kuid pakub samal ajal piisavalt tootlust, et pikaajalisi finantseesmärke täita. Iga uue vara lisamisel portfelli, tuleb hinnata selle mõju koguportfellile. Kaasaarvatud potentsiaalseid eksponentsiaalseid muutuseid, mille eest tuleb vajadusel portfelli kaitsta. Portfelli koguriski saab vähendada lisades sinna vara, mis pole traditsiooniliste kapitaliturgudega korrelatsioonis. Selliste alternatiivsete varade hulka kuuluvad ka *bitcoin* ja teised krüptovarad. (Burniske, Tatar 2008, 117) Portfelli koostamise sammud on üksikasjalikult toodud välja magistritöö peatükis 3, mis kirjeldab põhjalikult kahte kasutusel olevat meetodikat.

4.1. Varaklasside ajalooline tootlus ja standardhälve

Baasanalüüsi vaadeldavaks perioodiks on 2009 – 2021. Aastal 2009 loodi *bitcoin* ning mõlemad vaadeldavad võlakirjade indeksid, mille puhul on tegemist kogu ajalooliselt saadaoleva infoga. Aegread on kuise intervalliga ning valimi sisse jääb 156 perioodi. Järgnevas tabelis toob autor esile varaklasside ajaloolised tootlused ja riskid.

Tabel 1. Varaklasside ajalooline tootlus, dispersioon ja standardhälve

Varaklass	Madala turukap. aktsiad	Kõrge turukap. aktsiad	Ettevõtete võlakirjad	USA riigi võlakirjad	Kinnisvara	Toorained	Raha (3-kuuline deposiitohius)
Keskmine tootlus	12.26%	13.89%	4.89%	2.76%	13.73%	14.36%	0.68%
Dispersioon	3.88%	2.20%	0.25%	0.13%	4.38%	4.21%	0.07%
Standardhälve	19.7%	14.84%	5.01%	3.62%	20.94%	20.51%	2.58%

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Antud perioodi sisse jääb üks suur majanduskriis ning koroonapandeemia algusest tingitud majanduslangus, mis eelduslikult mõjutab aktsiate ajaloolist tootlust negatiivselt ning võlakirjade ajaloolist tootlust positiivselt. Lisaks on oodata positiivset mõju toorainetele ja kinnisvarale.

Tabelist on näha, et kõige paremat tootlust pakkusid toorained, mida esindab analüüsis Vanguard Materials indeks. Sellele järgnevad kõrge turukapitalisatsiooniga dividendiaktsiad (Russell 1000 indeks), kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks) ning madala turukapitalisatsiooniga kasvuaktsiad (Russell 2000 indeks). Kõige halvemat tootlust on antud perioodil pakkunud raha. Nii võlakirjade tootlus kui ka sellele vastav risk on jäänud eelduste kohaselt madalaks ja stabiilseks. Kõige madalamat riski pakkus raha ning kõige kõrgemat riski kinnisvara. Kõige kõrgemat tootlust pakkunud toorainete risk on tabelis teisel kohal. Kõige suuremat varieerumist on näidanud kinnisvara ja toorained, millele järgnesid mõlemad aktsiaindeksid.

Teine analüüs viiakse läbi kuuest suurima turukapitalisatsiooniga krüptovarast koosneva indeksiga, mille vaadeldavaks perioodiks on 2017 – 2021. Aegread on kuise intervalliga ning valimi sisse jääb 60 perioodi. Järgnevas tabelis toob autor esile krüptovarade ajaloolised tootlused ja riskid. Kuna *bitcoin* on kaasatud mõlemasse analüüsi, toob autor selle puhul välja andmed lisaks eelnevale perioodile ka perioodil 2009 – 2021. *Bitcoin I* tähistab kogu ajaloo jooksul saadaolevat infot perioodil 2009 – 2021 ning *bitcoin II* andmeid aastatelt 2017 – 2021.

Tabel 2. Krüptovarade ajalooline tootlus, dispersioon ja standardhälve

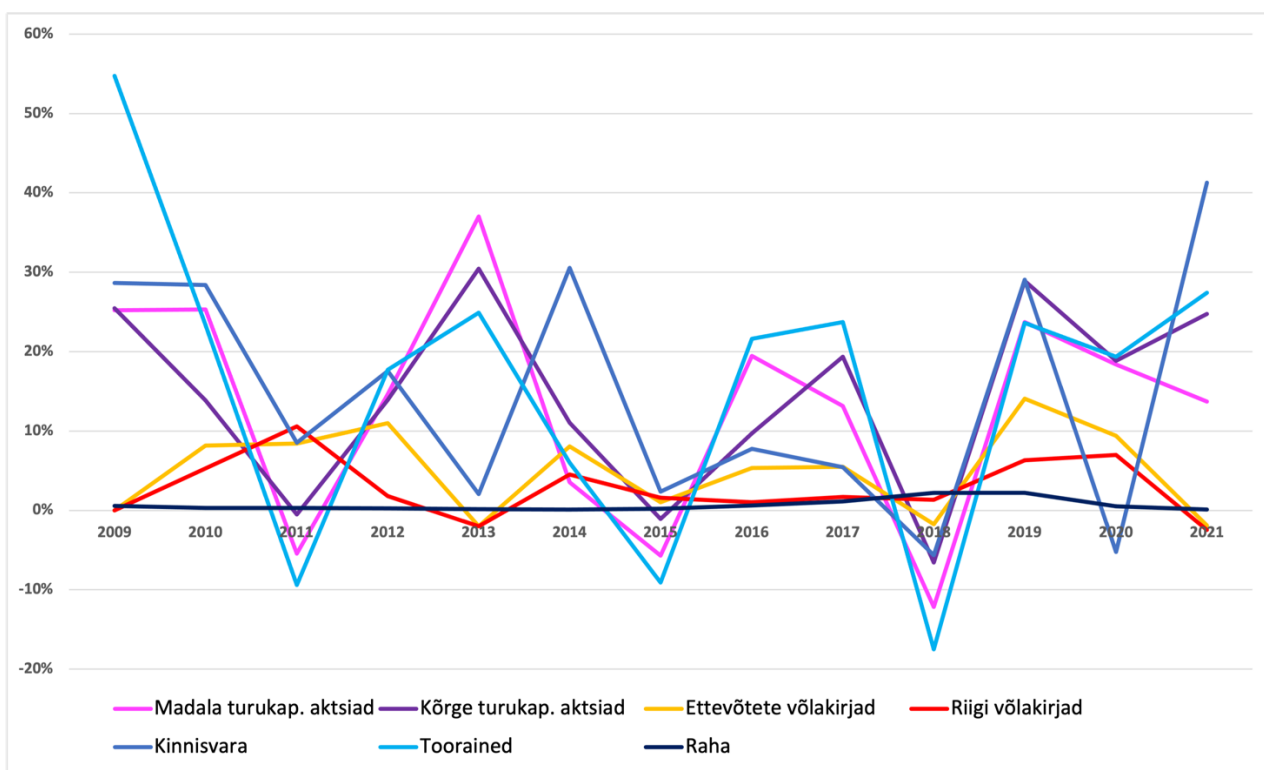
Krüptovara	bitcoin I	bitcoin II	ethereum	tether	binance coin	XRP	cardano
Keskmine tootlus	151.02%	117.96%	241.15%	0.0036%	197.28%	164.26%	112.22%
Dispersioon	386%	86%	279%	0.37%	644%	1970%	1125%
Standardhälve	196%	93%	167%	6.07%	254%	444%	335%

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Võrreldes traditsiooniliste varaklassidega, on krüptovarade tootlus, dispersioon ja risk kõrgemad. Tabelist on näha, et kõige paremat ajaloolist tootlust on pakkunud *ethereum*. Tegemist on küllaltki efektiivse varaga, sest kõige kõrgema tootluse juures pakub see neljast konkureerivast krüptovarast madalamat riski. Kõige kõrgem risk on krüptovaral *XRP*, millele järgnevad *cardano* ja *binance*

coin. Madalaima tootluse ja riskiga on *tether*, mille dispersioon on samuti äärmiselt väike. *Bitcoin* on nii tootluse kui riski poolest neljandal positsioonil. Teiste krüptovaradega võrreldes on *XRP* ja *cardano* dispersioon kõrgeim. Krüptovaradest koostatud indeksi keskmine ajalooline tootlus on 123.30%, dispersioon 293% ja standardhälve 171%.

Tabelitest on näha, et madalama riskiga varaklass pakub ka madalamat tootlust. Siiski ei ole kummagi tabeli kõige kõrgema tootlusega varaklassil kõige kõrgem riskitase, mis kinnitab varaklasside efektiivsust. Joonisel 5 näitab autor, kuidas varaklasside ajaloolised tootlused üksteisest erinevad.



Joonis 5. Varaklasside ajaloolised tootlused perioodil 2009 – 2021.

Allikas: Mursula (2022), autori koostatud

4.2. Investeeringisportfelli riski ja tulu suhe

Portfelli riskitaseme arvutamiseks kasutab autor dispersiooni-kovariatsioonimaatriksit. Dispersioon näitab suuruse varieerumist ning kovariatsioon kahe varaklassi koosmuutumise määra.

Tabel 3. Varaklasside dispersiooni-kovariatsioonimaatriks

	Madala turukap. aktsiad	Kõrge turukap. aktsiad	Ettevõtete võlakirjad	USA riigi võlakirjad	Kinnisvara	Toorained	Raha	Bitcoin
Madala turukap. aktsiad	0.038801	0.026404	0.002178	-0.003021	0.027883	0.033781	-0.000651	0.060774
Kõrge turukap. aktsiad	0.026404	0.022028	0.002086	-0.001992	0.022270	0.027062	-0.000420	0.035622
Ettevõtete võlakirjad	0.002178	0.002086	0.002506	0.000937	0.004852	0.002486	0.000022	-0.002391
USA riigi võlakirjad	-0.003021	-0.001992	0.000937	0.001307	0.000265	-0.002674	0.000110	-0.006849
Kinnisvara	0.027883	0.022270	0.004852	0.000265	0.043840	0.027478	-0.000516	0.017967
Toorained	0.033781	0.027062	0.002486	-0.002674	0.027478	0.042079	-0.000633	0.041399
Raha	-0.000651	-0.000420	0.000022	0.000110	-0.000516	-0.000633	0.000665	-0.005203
Bitcoin	0.060774	0.035622	-0.002391	-0.006849	0.017967	0.041399	-0.005203	3.857500

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Enamus kovariatsioonikordajaid on positiivsed, mis näitab, et varaklasside tulumäärad liiguvad üldjuhul samas suunas. Negatiivsed seosed on USA riigi võlakirjade ning aktsiate vahel, raha ja aktsiate vahel, *bitcoini* ja võlakirjade vahel ning *bitcoini* ja raha vahel. Mõlemate seoste olemasolu portfellis on hea märk, sest kui üks varaklass kukub, siis teine tõuseb, mis näitab, et tegemist on hajutatud portfelliga. Positiivne seos *bitcoini* ja aktsiate vahel viitab sellele, et *bitcoini* lisamine portfelli suurendab portfelli riski.

Indeksi alusel tehtud arvutused on välja toodud lisas 2. Sarnaselt esimesele dispersiooni-kovariatsioonimaatriksile, on ka indeksiga mudelis enamus kovariatsioonikordajad positiivsed. USA riigi võlakirjadel on negatiivne seos kõikide varaklassidega peale ettevõtete võlakirjade ja raha. Samuti on rahal negatiivne seos kõikide varaklassidega peale mõlema võlakirja indeksi. Krüptovaradest koostatud indeksil on lisaks USA riigi võlakirjadele negatiivne seos ka rahaga. Indeksi lisamine portfelli suurendab samuti koguportfelli riski ning märkide põhjal on indeksiga portfelli vähem hajutatud kui pelgalt *bitcoini* portfelli.

Pärast dispersiooni-kovariatsioonimaatriksite leidmist, arvutab autor välja varaklasside korrelatsioonimaatriksi. Korrelatsioonimaatriksit kasutatakse varaklasside omavaheliste seoste analüüsimiseks ning see annab detailsema ülevaate kui dispersiooni-kovariatsioonimaatriks.

Tabel 4. Varaklasside korrelatsioonimaatriks

	Madala turukap. aktsiad	Kõrge turukap. aktsiad	Ettevõtete võlakirjad	USA riigi võlakirjad	Kinnisvara	Toorained	Raha	Bitcoin
Madala turukap. aktsiad	1							
Kõrge turukap. aktsiad	0.908965	1						
Ettevõtete võlakirjad	0.233025	0.296835	1					
USA riigi võlakirjad	-0.447671	-0.392641	0.521216	1				
Kinnisvara	0.680430	0.721255	0.573084	0.043371	1			
Toorained	0.841419	0.894612	0.255941	-0.381261	0.643901	1		
Raha	-0.130624	-0.113096	0.017090	0.114773	-0.096494	-0.122536	1	
Bitcoin	0.158101	0.122991	-0.023601	-0.093613	0.043972	0.103420	-0.103082	1

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Tabelist on näha, et madala turukapitalisatsiooniga aktsiad on liikunud ühes suunas kõikide teiste varaklassidega peale USA riigi võlakirjade ja rahaga. Korrelatsioon kõrge turukapitalisatsiooni aktsiatega on äärmiselt kõrge, mis tähendab, et nende mõlema lisamine portfelli suurendab oluliselt portfelli koguriski. Toorainete ja mõlemaid aktsiaid esindava varaklassi vahel on samuti kõrge korrelatsioon. Kinnisvara ja mõlemaid aktsiaid esindava varaklassi vahel on küll toorainetest madalam korrelatsioon, kuid siiski keskmisest tugevam seos. Toorainete ja kinnisvara omavaheline korrelatsioon on keskmise tugevusega. Võlakirjade omavaheline korrelatsioon on keskmise tugevusega ning nende korrelatsioon teiste varaklassidega on madal või negatiivne. Kõige enam negatiivseid korrelatsioonikordajaid on rahal, mis viitab raha portfelli lisamise olulisusele. *Bitcoin*i korrelatsioon teiste varaklassidega on üsna madal või negatiivne, mille põhjal saab järeldada, et *bitcoini* lisamine portfelli vähendab koguportfelli riski.

Sarnaselt bitcoinile, näitab indeksiga mudel (lisa 3) tugevat positiivset korrelatsiooni madala ja kõrge turukapitalisatsiooniga aktsiate, kinnisvara ja toorainete, toorainete ja mõlema aktsia indeksite ning kinnisvara ja mõlema aktsia indeksite vahel. Kõikide mainitud varaklasside lisamine portfelli suurendab oluliselt koguportfelli riski. Võlakirjade ja teiste varaklasside vaheline korrelatsioon on madal või negatiivne. Rahal negatiivne korrelatsioon kõikide varaklassidega peale mõlema võlakirju esindava indeksiga. Krüptovaradest koosneva indeksi korrelatsioon teiste varaklassidega on küllaltki madal või negatiivne, mis sarnaselt *bitcoinile* viitab sellele, et indeksi lisamine portfelli vähendab koguportfelli riski.

Pärast korrelatsioonimaatriksite loomist, arvutab autor välja portfelli oodatava tulumäära (valem 3.2), standardhälbe (valemid 3.3 ja 3.4) ning Sharpe'i suhtarvu (valem 3.8). Autor kasutas riskivaba tulumäärana USA riigivõlakirja kolme kuu intressimäära (0.43%). Nende arvutamiseks jagab autor varaklasside osakaalud võrdselt ära, seega iga varaklassi algseks kaaluks saab 12.5%. Baasanalüüsi portfelli oodatav tulumäär on 26.70%, standardhälve 26.97% ja Sharpe'i suhtarv 0.97. Lisaanalüüsi portfelli oodatav tulumäär on 19.42%, standardhälve 23.74% ja Sharpe'i suhtarv 0.80.

4.3. Markowitzi optimaalne portfell

Krüptovarade optimaalse osakaalu leidmiseks ning kogu portfelli koostamiseks tuleb lahendada optimeerimisülesanne, mille aluseks on elutsüklite teooriast tulenevad kitsendused. Baasstsenaariumi kohaselt lahendatakse kõigepealt optimeerimisülesanne, kus ainsateks kitsendusteks on, et kõikide varade osakaalude summa on 100% ning iga vara osakaal portfellis on võrdne või suurem kui null. Selliselt leitakse kõigepealt neutraalne turuportfell ning seejärel maksimaalse tulumääraga portfell ja minimaalse riskiga portfell. Optimeerimisülesande lahendamiseks kasutab autor spetsiaalset tööriista *MS Excel SOLVER*. Turuportfelli leidmiseks kasutatakse Sharpe'i suhtarvu ning leitakse portfell, kus suhtarv on kõige suurem. Maksimaalse tulumääraga portfelli leidmiseks maksimeeritakse oodatavat tulumäära ning minimaalse riskiga portfelli leidmiseks minimeeritakse riski ehk standardhälvet. Kuna minimaalse riskiga portfelli tootlus oleks olnud negatiivne, lisatakse portfelli leidmisel kitsendus, et tootlus peab olema suurem või võrde kui null. Portfellide optimaalsed osakaalud on välja toodud tabelis 5. Indeksi alusel tehtud analüüsi tulemused on leitavad lisast 4.

Tabel 5. Optimaalsed portfelligid ilma kitsendusteta

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfelligis		
	Turuportfell	Maksimaalse tulumääraga portfell	Minimaalse riskiga portfell
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	0%	0%	4.2%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	20%	0%	0.4%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	0%	0%	0%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	68.4%	0%	37.3%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0.9%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	10.8%	0%	57.1%
Krüptovarad (bitcoin)	0.8%	100%	0.1%

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Analüüsist tuleb välja, et juhul kui leida optimaalsed osakaalud ilma laiemate kitsendusteta, ei tuleks ühegi portfelli puhul kinnisvarasse ega ettevõtete võlakirjadesse investeerida. Kinnisvara ja toorained on aktsiatega tugevas korrelatsioonis, mis võib nende puudumist selgitada. Samuti käib toorainetega kaasas kõrgem risk. Ettevõtete võlakirjad on portfelligist tõenäoliselt madala oodatava tootluse tõttu välja jäänud. Turuportfellides on USA riigi võlakirjade osakaal nende madala riski tõttu suurim. Bitcoiniga mudelis on see 68.4% ning indeksiga mudelis 85.7%. Minimaalse riskiga portfelligis, kuhu on lisatud *bitcoin*, tuleks investeerida kõige rohkem varadest (57.1%) raha ja ekvivalentidesse, kuid krüptovaradest koostatud indeksiga mudeli puhul tuleks investeerida suurim osa varadest (79.2%) hoopis USA riigi võlakirjadesse. Vaatamata krüptovarade kõrgele riskile ja suurele volatiilsusele, on need siiski igas portfelligis esindatud. Mõlema analüüsi puhul tuleb välja, et maksimaalse tulumäära saamiseks tuleks investeerida 100% varadest krüptovaradesse. Minimaalse riskiga portfelligides jääb krüptovarade osakaal 0.1% juurde ning turuportfellis on *bitcoini* osakaal 0.8% ja krüptovaradest koostatud indeksi osakaal 0.7%. Portfelligide Sharpe'i suhtarv, oodatav tulumäär ja standardhälve on välja toodud lisas 1.

Järgmisena pannakse peale kitsendused ning leitakse optimaalsed portfellid vastavalt kolmele vanusegrupile: noorus (vanus 21-35), konsolideerumine (vanus 36-65) ja pensionipõlv (vanus 66-80). Kitsendused on kindlate arvude asemel toodud välja protsentuaalsetes vahemikes, sest vastasel juhul oleksid piirangud liialt ranged. Kitsenduste määramisel lähtub autor elutsükli teooriast ning varasemast teoreetilisest kirjandusest. Elutsükli teooria üldtunnustatud põhimõte on see, et noored peaksid investeerima riskantsematesse varaklassidesse vanematest inimestest rohkem. (Bodie *et al.*, 2007, 35) Seetõttu on portfellid ehitatud üles selliselt, et risk on suurim nooruses ning väheneb vanuse kasvades. Aktsiate osakaalude määramisel lähtub autor Bodie ja Crane (1997) tutvustatud reeglist, mille kohaselt tuleks aktsiatesse investeerida valemi 100 miinus vanus järgi. Autor on kohandanud osakaale vastavalt vajadusele ning selle tulemusel on aktsiate osakaal nooruses 60-80%, konsolideerumise eas 40-60% ning pensionipõlves 20-40%. Selliste kaaludega on kooskõlas ka Fagerengi ja teiste (2017) ning Ebneri ja teiste (2022) saadud tulemused. Milligan (2005) sõnul suureneb vanuse kasvades fikseeritud tuluga väärtpaberite ja raha osakaal, mistõttu on võlakirjade osakaal nooruses 15-35%, konsolideerumise eas 30-50% ning pensionieas 50-70%. Selliselt moodustavad valdava osa portfelist aktsiad ja võlakirjad ning ebatraditsioonilistele varaklassidele jääb madalam osakaal.

Kinnisvara ja toorainete osakaalude määramisel lähtus autor Delfimi ja Hoesli (2019) saadud tulemustest, mille kohaselt on kinnisvarasse investeerimise optimaalne osakaal pikema ajahorisondiga inimestel 20% ning lühema ajahorisondiga inimestel 10%. Samuti leiavad nad, et toorainete osakaal jääb kogu elutsükli vältel 5% juurde, kuid elutsükli teooriast lähtuvalt on toorainete kitsendust konsolideerumise ja pensionieas 5% võrra suurendatud. Selliselt moodustavad kinnisvara ja toorained kogu portfelist nooruses ja konsolideerumise eas 0-25% ning pensionieas 0-20%. Milligani (2005) tulemustest lähtuvalt suureneb raha ja ekvivalente vastav kitsendus vanuse kasvades.

Andrianto ja Diputra (2017) sõnul jääb heade tulemuste saavutamiseks *bitcoini* optimaalne osakaal 5% ja 20% vahele. Lähtuvalt elutsükli teooriast, mille kohaselt investeeritakse nooruses riskantsetesse varadesse rohkem, on krüptovarade kitsendus suurim just nooruses ning väheneb vanuse kasvades. Usaldusväärsemate tulemuste saavutamiseks on madalaimaks osakaaluks pandud 0%.

Kitsendused on esitatud tabelis 6. Täiendavalt jäävad kehtima algsed kitsendused.

Tabel 6. Elutsüklite teooria alusel määratud varaklasside kitsendused

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20 - 30%	15 - 25%	5 - 15%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	40 - 50%	25 - 35%	15 - 25%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	5 - 15%	5 - 15%	0 - 10%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	10 - 20%	25 - 35%	50 - 60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0 - 20%	0 - 15%	0 - 10%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0 - 5%	0 - 10%	0 - 10%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0 - 10%	0 - 10%	5 - 15%
Krüptovarad (bitcoin ja krüptovarade indeks)	0 - 20%	0 - 15%	0 - 10%

Allikas: Mursula (2022), autori koostatud tabel elutsüklite teooria ja varasemate uuringute alusel

Optimeerimisülesande lahendamisel optimeeritakse Sharpe'i suhtarvu ning leitakse portfell, mille puhul on suhtarv suurim. Lisaks optimaalsetele osakaaludele toob autor välja portfelli oodatava tootluse, koguriski ja Sharpe'i suhtarvu. Portfelli oodatav tootlus on arvutatud korrutades varaklasside kaalude ja nende oodatavate tulumäärade vektorid. Portfelli kogurisk on arvutatud võttes ruutjuur portfelli dispersioonist, mis on leitud korrutades omavahel varaklasside osakaalud ning dispersiooni-kovariatsiooni ja osakaalude omavaheline korrutis. Tulemused on välja toodud tabelis 7. Indeksiga mudeli tulemused on leitavad lisast 5.

Võrreldes turuportfelliga on kitsendustega mudeli risk ja tootlus (va pensionieas) suuremad ning Sharpe'i suhtarv väiksem. Pensioniea portfelli oodatav tootlus jääb turuportfelli oodatavast tootlusest 0.08% madalamaks. Sarnaseid tulemusi näitab võrdlus minimaalse riskiga portfelliga, kuid võrreldes maksimaalse oodatava tootluse portfelliga on näha vastupidiseid tulemusi.

Tabel 7. Optimaalsed portfelligid kitsendustega mudeli alusel

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfelligis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	40%	25%	15%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	15%	15%	4.2%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	1.7%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0%	8.1%	15%
Krüptovarad (bitcoin)	3.3%	1.9%	0.8%
Portfelli oodatav tootlus	14.56%	9.92%	5.82%
Portfelli kogurisk	12.18%	7.53%	3.48%
Sharpe'i suhtarv	1.16	1.26	1.55

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Nii madala turuväärtusega kasvuaktsiate kui ka kõrge turuväärtusega dividendiaktsiate osakaal jääb igas vanuseklassis kitsenduste alusel madalaima võimaliku osakaalu juurde. Nooruses jäävad kõrgeima võimaliku osakaalu juurde mõlemad võlakirjade indeksid, mille osakaal suureneb konsolideerumise eas veelgi. USA riigi võlakirjade optimaalne osakaal kasvab pensioniikka jõudes endiselt, kuid ettevõtete võlakirjade optimaalne osakaal langeb. Ootuste kohaselt vahetub aktsiate suur osakaal vanemaks saades võlakirjade vastu välja. Kui nooruses tuleks investeerida valdav osa portfelligist kõrge turuväärtusega dividendiaktsiatesse, siis pensionieas moodustavad enam kui poole portfelligist USA riigi võlakirjad.

Kui ilma kitsendusteta mudelis oli kinnisvara osakaal alati 0%, siis kitsendustega mudelis on hoopis toorainete osakaal 0%. Seda võib selgitada toorainete ja mõlemate aktsiaid esindava indeksivaheline kõrge korrelatsioon, mille kohaselt suurendaks kõigi kolme varaklassi lisamine portfelli oluliselt selle koguriski. Kinnisvara optimaalne osakaal nooruses on 1.7% ning konsolideerumise ja pensionieas on selle optimaalne osakaal 0%. Tulemus on loogiline, sest vanemas eas keskendutakse rohkem varanduse jaotamisele. Samuti on kinnisvara ja aktsiate vahelt tugev korrelatsioon ning kinnisvaraga kaasnev risk küllaltki suur, mis selgitab selle olematut osakaalu. Pensionieas soovitakse omada rohkem likviidset vara ning analüüsist on näha, et raha ja ekvivalentide osakaal pensionieas on 15% ning teistes vanuseklassides madalam. Nooruses on raha ja ekvivalentide optimaalne osakaal 0%, mis kasvab konsolideerumise eas 8.1% tasemele. Pensionieas on tegemist kitsendustest tulenevalt kõrgeima võimaliku osakaaluga. Samuti vastavad tulemused varasematele teoreetilistele andmetele.

Tulemustest tuleb välja, et igas vanuses investor peaks *bitcoini* portfelli lisama. Tulemused on märkimisväärsed, sest kitsenduste järgi on *bitcoini* madalaim võimalik osakaal igas vanuseklassis 0%. Sellegipoolest on *bitcoini* optimaalne osakaal nooruses on 3.3%, konsolideerumise eas 1.9% ja pensionieas 0.8%. Järelikult on *bitcoin* vaatamata kõrgele volatiilsusele ning kaasnevale riskile portfelli oluline element.

Turuportfelliga võrreldes näitab indeksiga mudel (lisa 5) kõikide portfelli korral madalamat Sharpe'i suhtarvu ja kõrgemat oodatavat tootlust ja koguriski. Madala riskiga portfelliga võrreldes on kitsendustega mudelil nii kõrgem Sharpe'i suhtarv kui ka oodatav tootlus ja kogurisk. Võrreldes maksimaalse oodatava tootluse portfelliga, on näha kõrgemat Sharpe'i suhtarvu, madalamat oodatavat tootlust ning ka madalamat koguriski. Võrreldes *bitcoini* portfelliga, on kõikides vanuseklassides indeksiga mudeli Sharpe'i suhtarv madalam, kuid portfelli oodatavad tootlused ja kogurisk on kõrgemad.

Kõikides vanuseklassides jääb madala turuväärtusega aktsiate optimaalne osakaal madalaima võimaliku osakaalu juurde ja kõrge turuväärtusega aktsiate optimaalne osakaal pea kõrgeima võimaliku osakaalu juurde. Ettevõtete võlakirjade optimaalne osakaal on nooruses ja konsolideerumise eas kitsenduste põhjal kõrgeim võimalik osakaal. Pensionieas jääb see madalale tasemele. USA riigi võlakirjade osakaal on kõikides vanuseklassides kõrgeim võimalik osakaal. Sarnaselt *bitcoini* mudelile on ka indeksiga mudelis toorainete optimaalne osakaal igas vanuseklassis 0%. Samuti jääb kinnisvara optimaalne osakaal 0% juurde, mis võib olla tingitud

kinnisvara ja aktsiate vahelisest kõrgest korrelatsioonist. Raha ja ekvivalendid on esindatud vaid pensionieas, kuid nende optimaalne osakaal on 5%, mis on madalam kui *bitcoiniga* mudelis.

Indeksiga portfellidest on näha, et krüptovarad on oluline element igas vanuses investori portfellis. Võrreldes pelgalt *bitcoiniga*, on indeksi optimaalne osakaal kõikides vanuseklassides kõrgem. Indeksi optimaalne osakaal nooruses on 4.3%, konsolideerumise eas 3% ja pensionieas 1.7%. Indeksis on riskide hajumine kõrgem kui ühe kindla krüptovara puhul, mis võib kõrgemat tulemust selgitada.

Mõlemad analüüsid näitavad, et krüptovarad tuleks portfelli lisada vanusest hoolimata. On oluline meeles pidada, et portfellid leiti selliselt, et Sharpe'i suhtarv oleks kõige kõrgem. Juhul kui investori eesmärk oleks pelgalt portfelli oodatavat tootlust maksimeerida, oleks krüptovarade osakaal portfellis kõrgem ning kui eesmärk oleks portfelli koguriski minimeerida, oleks nende osakaal madalam.

Leitud optimaalsete portfellide alusel leiab kinnitust esimene hüpotees, et krüptovarade osakaal portfellis sõltub investori elutsükli faasist. Teine hüpotees, et investoril on mõistlik omada krüptovarasid elutsükli varases faasis on selle analüüsi järgi ümberlükatud, sest tulemuste põhjal on investoril igas vanuses mõistlik krüptovarasid omada. Nooruses on nende optimaalne osakaal küll kõrgem, kuid sellegipoolest ei ole ühegi vanuseklassi puhul optimaalne osakaal 0%. Kolmanda hüpoteesi testimiseks viidi läbi lisatest (lisa 9), kus võrreldi portfelle, millest üks sisaldas krüptovarasid ning teine mitte. Taoline võrdlus viidi läbi vaid Markowitzi ning Black-Littermani baasanalüüsi mudelite põhjal. Tulemused kinnitasid kolmandat hüpoteesi, et krüptovarade lisamine portfelli suurendab koguportfelli riski ja oodatavat tootlust. Samuti on Markowitzi portfellidest näha, et mida suurem on krüptovarade osakaal, seda kõrgemad on portfelli oodatav tootlus ning kogurisk.

4.4. Black-Littermani optimaalne portfell

Optimaalse portfelli koostamise protsess on kirjeldatud detailselt peatükis 3.1. Black-Littermani mudel võtab arvesse investori ootusi varaklasside tootlikkuse osas. Aluseks olevad ootused on autori poolt määratud vastavalt mineviku andmete modelleerimise alusel saadud tulemustele,

millele on määratud vastav usaldusväärtus. Ajalooliste andmete mudeldamisel saadi järgnevad tulemused:

- 1) Kõrge turukapitalisatsiooniga dividendiaksiad toodavad 1.5% võrra paremat tootlust kui madala turukapitalisatsiooniga kasvuaktsiad. Vastav usaldatavus 75%;
- 2) Ettevõtete võlakirjade tootlus on 2% võrra kõrgem kui USA riigi võlakirjade tootlus. Vastav usaldatavus 50%;
- 3) Krüptovarad (*bitcoin* ja krüptovarade indeks mõlemad) toodavad 100% võrra paremat tootlust kui kõrge turukapitalisatsiooniga dividendiaksiad. Vastav usaldatavus 25%.

Ootused rakendatakse kogu turule üldiselt ning optimaalsed osakaalud leitakse vastavalt vanusele elutsükli teooriast tulenevate kitsenduste abil. Akadeemilisest huvist tingituna viis autor läbi täiendava analüüsi, millest jättis krüptovaradega seonduva ootuse välja. Selle asemel oli kolmandaks ootuseks, et toorained toodavad 1% võrra paremat tootlust kui kinnisvara, mida vastas usaldatavus 75%. Kuna krüptovaradele ei ole seotud täiendavaid positiivseid ootuseid, vaid on jäänud neutraalseks, annab taoline analüüs veelgi selgema tulemuse ning tagab kõrgema usaldatavuse. Samadel põhjustel viis autor läbi ka kolmanda analüüsi, kus seadis krüptovaradele negatiivse ootuse. Selle analüüsi korral oli kolmandaks ootuseks, et kõrge turukapitalisatsiooniga dividendiaksiad toodavad 100% võrra paremat tootlust kui krüptovarad, mida vastas usaldatavus 25%.

Black-Littermani mudelis kasutatakse üldjuhul varianti, kus lühikeseks müümine on lubatud. Kuna selline lähenemine ei ole magistritöö eesmärgist tulenevalt asjakohane ega ka reaalses elus tehniliselt teostatav, on kasutatud mudelit, kus lühikeseks müümine ei ole lubatud. Sarnaselt Markowitzi mudelile on portfelliid on leitud kasutades tööriista *SOLVER* ja nendele on rakendatud samad kitsendused kui Markowitzi mudelis (tabel 6). Lisaks on lisatud kitsendused, et kõikide varaklasside osakaal peab olema suurem või võrdne kui 0% ning nende summa 100%.

Tabel 8 kajastab positiivse ootusega tulemusi, tabel 9 tulemusi, millest on ootused krüptovarade suhtes kõrvale jäetud ning tabel 10 negatiivse ootusega tulemusi. Ruumi optimaalse kasutamise eesmärgil on indeksiga mudeli tulemused lisatud lisadesse 6, 7 ja 8 ning magistritöö põhiosas kuvatakse pelgalt baasanalüüsi ehk *bitcoini* alusel saadud tulemusi.

Tabel 8. Black-Littermani optimaalsed portfelligid positiivse ootuse alusel

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfelligis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	40%	25%	15%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	13.9%	15%	4.8%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0%	6.3%	13.8%
Krüptovarad (bitcoin)	6.1%	3.7%	1.4%
Portfelli oodatav tootlus	27.90%	18.35%	9.15%
Portfelli kogurisk	16.11%	10.04%	4.32%
Sharpe'i suhtarv	1.71	1.78	2.02

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Tulemustest on näha, et mõlemaid aktsiad esindava indeksi optimaalne osakaal on kitsendustest tingitud madalaim võimalik osakaal kõikides vanuseklassides. USA riigi võlakirjade osakaal on seevastu kõrgeim võimalik osakaal. Ettevõtete võlakirjade tase ulatub konsolideerumise eas maksimumini. Nooruses on see samuti maksimumi lähedal, kuid pensionieas jääb see keskmisest madalamale. Ootused USA riigi võlakirjade optimaalset osakaalu maksimumist madalamale ei too ning Markowitzi mudeliga võrreldes, on Black-Littermani mudelis ettevõtete võlakirjade osakaal nooruses madalam, konsolideerumise eas võrdne ning pensionieas veidi kõrgem. Ettevõtete võlakirjade suhtes positiivselt häälestatud ootus omas seega suurimat mõju pensionipõlve portfelligile. Markowitzi mudeliga võrreldes jäid nii kõrge turuväärtusega aktsiate kui ka madala

turuväärtusega aktsiate osakaalud kõikides vanuseklassides samale tasemele. Järelikult ei avaldanud positiivsed ootused dividendiaktsiate suhtes suurt mõju.

Kinnisvara ja toorainete optimaalne osakaal jäi kõikides vanuseklassides 0% juurde. Tulemused sarnanevad Markowitzi portfelli. Ainsa erandina sisaldas Markowitzi portfelli nooruses väikesel hulgal kinnisvara. Huvitavalt kombel jäi toorainete osakaal ka täiendava analüüsi puhul 0% juurde, kuigi kolmas ootus oli toorainete suhtes positiivne ja kinnisvara suhtes negatiivne. Muudatusest tingituna kasvas ootamatul kombel hoopis kinnisvara osakaal nooruses 2.2% tasemele.

Raha osakaal näitab selget vanusega kasvavat trendi. Kõikides vanuseklassides peale nooruse, jäid tulemused kitsenduste keskmisest kõrgemale tasemele. Sarnast mustrit näitas Markowitzi mudel, kus oli raha osakaal konsolideerumise ees Black-Littermani mudelist kõrgem ning pensionieas madalam. Raha suhtes eraldi ootuseid ei määratud ning näha on sarnast mustrit, seega saab öelda, et tulemused on eeldustega kooskõlas.

Krüptovarad kajastuvad kõikides portfellides ning nende optimaalne osakaal jääb 1.4% ja 6.1% vahele. Eelduste kohaselt on nende osakaal suurim nooruses ning väheneb vanuse kasvades. Võrreldes Markowitzi mudeliga on Black-Littermani mudelis *bitcoini* osakaal kõrgem. Tulemust mõjutab tõenäoliselt kolmas ootus, mis oli krüptovarade suhtes positiivne ning kõrge turuväärtusega aktsiate suhtes negatiivne. Sama ootus võis tuletada ka selle, et dividendiaktsiate osakaal jäi kitsendustest tingitud madalaima võimaliku osakaalu juurde.

Kõikide portfelli oodatav tootlus ja kogurisk on Markowitzi portfelliidega võrreldes kõrgemad. Samuti on Black-Littermani portfelliid Sharpe'i suhtarvu alusel Markowitzi portfelliidest efektiivsemad. Nooruses on nii oodatav tootlus kui sellega kaasnev risk suurimad ning need vähenevad vanuse kasvades. Sharpe'i suhtarvu puhul on näha vastupidist trendi, mis tähendab, et pensioniealiste portfelli on efektiivsem. Järelikult on oodatav tootlus ja risk kõrgemad nendes portfelliid, kus *bitcoini* osakaal on kõrgem ja vastupidi. Tulemused on eelduste ja varasema kirjandusega kooskõlas.

Pärast täiendava analüüsi läbiviimist on näha, et positiivsete ootuste seadmine toorainetele nende osakaalu ei suurendanud. Võrreldes baasanalüüsi mudeliga kasvas ettevõtete võlakirjade optimaalne osakaal nooruses, mis pensionieas omakorda esialgselt madalamale langes. USA riigi võlakirjade ja aktsiate suhtes muutusi ei toimunud.

Tabel 9. Black-Littermani optimaalsed portfellid ilma ootuseta

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	40%	25%	15%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	15%	15%	4.3%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	2.2%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0%	8.4%	15%
Krüptovarad (bitcoin)	2.8%	1.6%	0.7%
Portfelli oodatav tootlus	15.11%	10.33%	6.06%
Portfelli kogurisk	11.62%	7.23%	3.42%
Sharpe'i suhtarv	1.26	1.37	1.65

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Võrreldes esialgse mudeliga, kus ootused *bitcoini* suhtes olid kõrged, on *bitcoini* optimaalne osakaal uues mudelis selgelt madalam. Bitcoin on endiselt kõikides vanuseklassides esindatud, jäädes 0.7% ja 2.8% vahele. Kõikide vanuseklasside osakaalud on madalamad kui Markowitzi mudelis. Sarnaseid tulemusi on näha indeksiga mudelis (lisa 6), kus krüptovarade optimaalne osakaal baasanalüüsi alusel oli noorus 9.7%, konsolideerumise eas 6.5% ning pensionieas 3.9%. Täiendavas mudelis (lisa 7) olid tulemused vastavalt 3.8%, 2.7% ja 1.6%. Samuti näitas indeksiga mudel baasanalüüsi korral kõrgemat oodatavat tootlust ja riski ning kõrgemat Sharpe'i suhtarvu kõikides vanuseklassides peale pensioni. Täiendava analüüsi korral olid kõikides vanuseklassides oodatav tootlus ja risk suuremad, kuid Sharpe'i suhtarv madalam. Analüüsides saab teha

järelduse, et kui ootused krüptovarade suhtes on kõrged, on indeksiga mudel efektiivsem, kuid kui krüptovarade suhtes ootuseid ei ole, on *bitcoiniga* mudel efektiivsem.

Tabel 10. Black-Littermani optimaalsed portfelligid negatiivse ootuse alusel

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfelligis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	40%	25%	15%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	15%	15%	5%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	1%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	4%	10%	15%
Krüptovarad (bitcoin)	0%	0%	0%
Portfelli oodatav tootlus	10.26%	7.68%	5.03%
Portfelli kogurisk	9.25%	6.07%	3.07%
Sharpe'i suhtarv	1.06	1.19	1.50

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Negatiivne ootus krüptovarade suhtes viib nende osakaalu languseni ning selliste ootuste korral ei peaks krüptovaradesse ühegi vanuseklassi puhul investeerima. Indeksi puhul (lisa 8) oli tulemus sama. Aktsiate ja võlakirjade osakaaludes suuri muutuseid ei toimunud. Vaatamata sellele, et kõrge turuväärtusega aktsiatele seati positiivsed ootused, jäi nende osakaal kitsendustest tingitud madalaima võimaliku osakaalu juurde.

Kinnisvara osakaal nooruses langes 1% juurde ning jäi teistes vanuseklassides samaks. Toorainete optimaalne osakaal on endiselt 0%. Raha optimaalne osakaal nooruses ja konsolideerimise eas suurenes, jäädes konsolideerumise eas suurima võimaliku osakaalu juurde ning nooruses keskmisest madalamale tasemele.

Portfellide oodatav tootlus on kõikides vanuseklassides madalam kui varasemate tulemuste puhul. Portfelli kogurisk on samuti madalam, kuid riskide erinevuste suhe vanuseklasside lõikes on teiste mudelitega võrreldes madal. See tähendab, et lisariski võtmisel on võimalik teenida kordades suuremat tootlust. Kõikide vanuseklasside Sharpe'i suhtarv on eelmistest mudelitest madalam, mis tähendab, et uued portfellid on eelmistest ebaefektiivsemad. Läbiviidud analüüside põhjal on näha selget trendi, et portfellides, mis sisaldavad krüptovarasid, on nii oodatav tootlus kui kogurisk kõrgemad.

4.5. Täiendavad analüüsid

Akadeemilise huvi alusel viis autor läbi täiendavad analüüsid, mille puhul kasutati mõõdikuna Black-Littermani mudeli alusel arvutatud krüptovarade erinevaid oodatavaid tootluseid ja nende hüpoteetilisi väärtuseid. Autor kasutas neutraalset analüüsi, mis ei sisaldanud krüptovarade suhtes ootuseid. Lisaks koostati mõlema mudeli põhjal võrdsete osakaaludega portfellid. Autor viis läbi mitmeid erineva stsenaariumiga analüüse, kuid magistritöös on kajastatud vaid olulisimad tulemused (lisad 10 - 14).

Kuna varaklasse on kaheksa, sai võrdses portfellis iga varaklassi osakaaluks 12.5%. Tulemustest on näha, et oodatav tootlus ja risk on oluliselt suuremad kui varasemates analüüsides, mil varaklasside osakaalud on optimeeritud. Markowitzi mudelis on portfelli oodatav tootlus pea sama suur kui selle kogurisk. Black-Littermani mudeli uued, kõrgemad oodatavad tootlused selgitavad erinevust portfellide tulemustes. Analüüsi põhjal on Black-Littermani mudel efektiivsem.

Täiendava analüüsi tulemustest saab järeldada, et krüptovarade optimaalne osakaal on tugevalt seotud selle oodatava tootlusega. Koos oodatava tootlusega kasvab ka krüptovarade optimaalne osakaal igas vanuseklassis. Kõrgest tootlusest hoolimata jääb optimaalne osakaal kõikides vanuseklassides alla 10%. On huvitav täheldada, et kuigi krüptovarade oodatavat tootlust tõsteti 200 protsendipunkti võrra, on optimaalne osakaal endiselt väga madal ning eelmisest ootusest vaid

0.5% võrra suurem. 100 ning 150 protsendipunkti võrra madalam oodatav tootlus tähendas nullilähedast tootlust ja viis krüptovarade osakaalu 0% juurde. 100 protsendipunkti võrra kõrgem oodatav tootlus viis krüptovarade optimaalse osakaaluni, mis oli madalam kui Black-Littermani positiivsete ootustega mudelis. Teiste mudelitega võrreldes oli osakaal kõrgem. Indeksiga mudel näitab sama tulemust.

Portfellide oodatav tootlus, kogurisk ja Sharpe'i suhtarv kasvavad koos krüptovarade tootlusega. Kui krüptovarade oodatav tootlus oleks 200 protsendipunkti võrra kõrgem, oleks tegemist kõige efektiivsemate mudelitega, sest Sharpe'i suhtarvud on kõikide analüüside kõrgeimal tasemel.

Analüüside abil saab järeldada, et krüptovarade optimaalne osakaal on tugevalt seotud nende oodatava tootlusega. Krüptovarade oodatav tootlus on niivõrd kõrge, et need on esindatud igas vanuseklassis kaasnevast riskist hoolimata. Krüptovarade optimaalne osakaal kasvab koos oodatava tootluse kasvuga ja väheneb ootuste langedes. Siiski ei tõsta ka äärmiselt kõrge oodatav tootlus krüptovarade optimaalset osakaalu kõrgemale kui 8.2% (indeksiga mudeli puhul 12%). Krüptovarade osakaalu suurenedes on oodatava tootluse suhteline kasv riski omast suurem ja kuigi krüptovaradega käib kaasas keskmisest kõrgem risk, on need oodatava tootluse tõttu mõistlik väheses koguses portfelli lisada. Väikeses koguses võivad krüptovarad hajutatud portfelli efektiivsemaks muuta. Suure osakaalu puhul suurendavad need küll portfelli oodatavat tootlust oluliselt, kuid see võib olla osade investorite jaoks liialt riskantne.

KOKKUVÕTE

Krüptovarade maailm võib vahetevahel tunduda õudne ja ulmeline. Tõenäoliselt samastub see tundega, mida tunti siis, kui esimest korda räägiti elektrist või internetist, sest paljudes tekitavad muutused hirmu. Samas loovad need uusi võimalusi ning võivad endas peita enneolematut edu, kui võimalusi näha ja vastavalt neile tegutseda. Lõppkokkuvõttes leiutati ka raha kunagi selleks, et kaubavahetust hõlbustada ning krüptovaluutad võivad siin kohal olla suurepäraseid teejuhid tuleviku digitaalse maailma toimimise suunas.

Käesoleva magistritöö eesmärk oli leida erainvestori portfelli kõige optimaalsem krüptovarade osakaal, arvestades sealhulgas investori elutsükli: noorus, konsolideerumine ja pensionipõlv. Autor kavatses tuua investoritele rohkem selgust ning anda seeläbi igale investorile võimalus teha kaalutletud otsus sellest, kas krüptovarad sisaldavad endas ohtu või võimalust. Magistritöö eesmärgi täitmiseks püstitati järgmised hüpoteesid:

H1: Krüptovarade osakaal portfellis sõltub investori elutsükli faasist

H2: Investoril on mõistlik omada krüptovarasid elutsükli varases faasis

H3: Krüptovarade lisamine portfelli suurendab koguportfelli riski ja oodatavat tootlust

Magistritöös põhines ajaloolistel andmetel ning optimaalsete kaalude leidmiseks kasutati Markowitzi klassikalise portfelliteooria mudelit ning Black-Littermani mudelit. Portfellide koostamiseks lahendati optimeerimisülesanne, kus kasutati elutsükli teooriast tulenevaid kitsendusi. Mudelisse sisestati järgmised varaklassid:

- Madala turuväärtusega aktsiad: Russell 2000 indeks
- Kõrge turuväärtusega dividendiaktsiad: Russell 1000 indeks
- Ettevõtete võlakirjad: Vanguard Corporate Bond indeks
- Riigi võlakirjad: Vanguard Treasury indeks
- Kinnisvara: Vanguard Real Estate indeks
- Toorained: Vanguard Materials indeks

- Raha ja ekvivalendid: USA 3 – kuuline deposiithoius
- Krüptovarad: *bitcoin* ja krüptovaradest koostatud indeks

Autor viis läbi kaks analüüsi. Baasanalüüs viidi läbi ainult *bitcoin*'iga, kuna sellel on kõige pikem aegrida ja vara on ka läbinud eelmise finantskriisi aastal 2009. Samuti on *bitcoin* varasemate uuringute põhjal kõige efektiivsem ja likviidsem krüptovara, mistõttu on selle ajaloolised andmed väärtuslikud. Lisaanalüüsi läbiviimiseks koostati kuuest suurimast krüptovarast eraldi indeks, kuhu sisestati *bitcoin* (BTC), *ethereum* (ETH), *tether* (USDT), *binance coin* (BNB), *XRP* (XRP) ja *cardano* (ADA). Baasanalüüsi vaadeldavaks perioodiks oli 2009 – 2021 ning lisaanalüüsi vaadeldavaks perioodiks 2017 – 2021.

Esialgsete mudelite tulemused näitasid, et investoril on mõistlik krüptovarad oma portfelli lisada. Markowitzi mudel näitas, et *bitcoini* optimaalne osakaal jääb 0.8% ja 3.3% vahele. Indeksiga mudelis jäi krüptovarade osakaal 1.7% ja 4.3% vahele. Black-Littermani mudelis seati positiivsed ootused dividendiaktsiate, ettevõtete võlakirjade ja esialgu krüptovarade suhtes. Adekvaatsemate tulemuste saamiseks viidi läbi täiendavad analüüsid, kus asendati ootus krüptovarade suhtes positiivse ootusega toorainete suhtes ja seejärel negatiivse ootusega krüptovarade suhtes. Esimese analüüsi tulemusena jäi *bitcoini* optimaalne osakaal 1.4% ja 6.1% vahele. Ootuseta mudelis jäi see 0.7% ja 2.8% vahele ning negatiivses mudelis igas vanuseklassis 0% juurde. Indeksiga mudeli korral jäi krüptovarade optimaalne osakaal positiivse ootusega mudelis 3.9% ja 9.7% vahele ja ootuseta mudelis 1.6% ja 3.8% vahele. Negatiivse ootusega mudelis olid kõik osakaalud samuti 0%.

Täiendavad analüüsid kinnitavad, et krüptovarade optimaalne osakaal on tugevalt seotud nende oodatava tootlusega. Krüptovarade oodatav tootlus on niivõrd kõrge, et need on esindatud igas vanuseklassis kaasnevast riskist hoolimata. Portfellid ei sisalda krüptovarasid ainult siis kui nende oodatav tootlus on madal või nende suhtes on seatud negatiivsed ootused. Siiski ei tõsta ka äärmiselt kõrge oodatav tootlus krüptovarade optimaalset osakaalu nende kõrge riski tõttu kõrgemale kui 8.2% (indeksiga mudeli puhul 12%).

Vaatamata sellele, et krüptovaradega käib kaasas keskmisest kõrgem risk, on need oodatava tootluse tõttu mõistlik väheses koguses portfelli lisada. Väikeses koguses võivad krüptovarad hajutatud portfelli efektiivsemaks muuta ja suure osakaalu puhul suurendavad need küll portfelli oodatavat tootlust oluliselt, kuid see võib olla osade investorite jaoks liialt riskantne.

Eelduste kohaselt oli krüptovarade osakaal suurim nooruses ning vähenes vanuse kasvades. Samuti olid tulemused kooskõlas varasema kirjanduse ja elutsükli teooriast tulenevate eeldustega. Magistritöös leidsid kinnitust hüpoteesid üks ja kolm. Hüpoteesi kaks kohaselt on investoritel mõistlik omada krüptovaraid elutsükli varases faasis. Tulemuste abil saab öelda, et krüptovarade optimaalne osakaal on elutsükli varases faasis küll kõrgem, kuid need on vähesel määral esindatud ka pensionieas, mistõttu on teine hüpotees ümberlükatud.

Käesoleva magistritöö tulemused ei ole puhas tõde, vaid üks võimalik lähenemine. Lisaks tuleb meele pidada, et tehtud uuring põhineb ajaloolistel andmetel, mis on küll majandusteaduses levinud praktika, kuid ei anna siiski täielikku kindlust tuleviku osas. Edasine uurimine peaks keskenduma mudeli parendamisele, võttes lisaks investori vanusele arvesse tema varade suurust või lisades mudelisse kitsendused tulenevalt majandustükli faasidest. Samuti tuleks kasuks viia läbi sarnane uuring kasutades varaklasse väljaspool USA turgu.

SUMMARY

RELATIVE ANALYSIS OF CRYPTOCURRENCIES IN PRIVATE INVESTOR'S PORTFOLIO

Jasmin Michelle Mursula

The world of cryptocurrencies can sometimes seem eerie and outlandish. It is likely to be akin to the feeling felt when electricity or the internet got invented because, for many, change is scary. However, changes create new opportunities and can harbor the unprecedented potential for success. Ultimately, money got designed to facilitate trade, and cryptocurrencies can be excellent guides to the future digital world.

This thesis aimed to find the most optimal proportion of crypto assets in a private investor's portfolio, considering the investor's life cycle, including youth, consolidation, and retirement. The author intended to bring more clarity to investors and enable each investor to decide whether crypto assets present a risk or an opportunity. Based on the aim of the thesis, the author developed three main hypotheses:

H1: The proportion of crypto assets in a portfolio depends on the phase of the investor's lifecycle

H2: It is prudent for an investor to hold crypto assets early in the lifecycle.

H3: Adding crypto assets to the portfolio increases the risk and expected return of the total portfolio.

The analysis was based on historical data and used the Markowitz Classical Portfolio Theory model and the Black-Litterman model to find the optimal weights. The portfolios were constructed by solving an optimization problem using constraints from life cycle theory. The model included the following asset classes:

- Growth stocks: the Russell 2000 index

- Dividend stocks: Russell 1000 index.
- Corporate bonds: the Vanguard Corporate Bond Index.
- Government bonds: Vanguard Treasury index.
- Real Estate: Vanguard Real Estate Index
- Commodities: Vanguard Materials Index
- Money and equivalents: US 3 - month depository deposit
- Crypto assets: Bitcoin and crypto index

The author carried out two analyses. The baseline analysis was conducted only on bitcoin, as it is the first crypto asset and has been through the previous financial crisis in 2009. According to previous studies, bitcoin is the most efficient and liquid cryptocurrency, so its historical data is most valuable. For further analysis, a separate index of the six leading crypto assets was compiled, including bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), tether (USDT), Binance coin (BNB), XRP (XRP), and Cardano (ADA). The period considered for the baseline analysis was 2009 - 2021, and the period considered for the additional study was 2017 - 2021.

The results of the initial models showed that it makes sense for investors to add crypto assets to their portfolios. The Markowitz model showed that the optimal allocation to bitcoin is between 0.8% and 3.3%. The index share ranged between 1.7% and 4.3%. In the Black-Litterman model, the author set positive expectations for dividend stocks, corporate bonds, and crypto-assets. For more adequate results, further analyses were carried out by replacing the expectation on crypto assets with a positive expectation on materials and then a negative expectation on crypto assets. As a result of the first analysis, the optimal share of bitcoin ranged between 1.4% and 6.1%. In the neutral model, the allocation was between 0.7% and 2.8%, and in the last model, it was 0% for each age group. The index model had the optimal share of cryptocurrencies ranging between 3.9% and 9.7% in the positive expectation model and between 1.6% and 3.8% in the no expectation model. In the negative expectation model, all weights were also 0%.

Further analysis confirms that the optimal proportion of crypto assets is dependent on their expected return. The expected return on crypto assets is so high that they are present in all age groups, regardless of risk. Portfolios will only exclude crypto assets if their expected return is low or if there are negative expectations. However, because of their risk, even high expected returns do not raise the optimal proportion of crypto assets above 8.2% (12% for the indexed model).

Despite the higher-than-average risk associated with cryptocurrencies, the expected return makes it prudent to include a small proportion of them in the portfolio. In a small proportion, crypto assets can make a diversified portfolio more efficient. In a large proportion, they can significantly increase the expected return of the portfolio, which may be too risky for some investors.

According to the assumptions, the share of crypto assets was highest at a young age and declined with age. The results were also in line with previous literature and expectations from life cycle theory. Hypotheses one and three were confirmed. According to hypothesis two, it is prudent for investors to hold crypto assets early in the life cycle. The results suggest that the optimal proportion of crypto assets is higher in the early phase of the life cycle. However, they are also present to a lesser extent at retirement age, which rejects hypothesis two.

The results of this thesis are not to be taken as pure certainty but as one possible approach. Moreover, it should be borne in mind that the study carried out is based on historical data, which, although common practice in economics, does not provide complete certainty for the future. Further research should focus on improving the model by including the size of investors' assets or adding restrictions to the model based on the phases of the economic cycle. It would also be beneficial to conduct a similar study using asset classes outside the US market.

KASUTATUD ALLIKATE LOETELU

- Andrianto, Y., & Diputra, Y. (2017). The effect of cryptocurrency on investment portfolio effectiveness. *Journal of finance and accounting*, 5(6), 229-238.
- Ayres, I., & Nalebuff, B. (2010). Lifecycle Investing: A New, Safe, and Audacious Way to Improve the Performance of Your Retirement Portfolio. ReadHowYouWant. com.
- Best, M. J., & Grauer, R. R. (1991). On the sensitivity of mean-variance-efficient portfolios to changes in asset means: some analytical and computational results. *The review of financial studies*, 4(2), 315-342.
- Bodie, Z., & Crane, D. B. (1997). Personal investing: Advice, theory, and evidence. *Financial Analysts Journal*, 53(6), 13-23.
- Bodie, Z., McLeavey, D., & Siegel, L. B. (Eds.). (2007). *The Future of Life-Cycle Saving and Investing*. Research Foundation of CFA Institute.
- Bodie, Z., Merton, R. C., & Samuelson, W. F. (1992). Labor supply flexibility and portfolio choice in a life cycle model. *Journal of economic dynamics and control*, 16(3-4), 427-449.
- Brauneis, A., & Mestel, R. (2018). Price discovery of cryptocurrencies: Bitcoin and beyond. *Economics Letters*, 165, 58-61.
- Burniske, C., & Tatar, J. (2018). *Cryptoassets: The innovative investor's guide to bitcoin and beyond*. New York: McGraw-Hill Education.
- Canh, N. P., Wongchoti, U., Thanh, S. D., & Thong, N. T. (2019). Systematic risk in cryptocurrency market: Evidence from DCC-MGARCH model. *Finance Research Letters*, 29, 90-100.
- Caporale, G. M., Gil-Alana, L., & Plastun, A. (2018). Persistence in the cryptocurrency market. *Research in International Business and Finance*, 46, 141-148.
- Ciaian, P., Rajcaniova, M., & Kancs, D. A. (2016). The economics of BitCoin price formation. *Applied economics*, 48(19), 1799-1815.
- Cocco, J. F., Gomes, F. J., & Maenhout, P. J. (2005). Consumption and portfolio choice over the life cycle. *The Review of Financial Studies*, 18(2), 491-533.
- Coin Market Cap. *Today's cryptocurrency prices by market cap*. Kättesaadav: <https://coinmarketcap.com>, 9. märts 2022

- Delfim, J. C., & Hoesli, M. (2019). Real estate in mixed-asset portfolios for various investment horizons. *The Journal of Portfolio Management*, 45(7), 141-158.
- Ebner, A., Horneff, V., & Maurer, R. (2022). Life-Cycle Portfolio Choice with Stock Market Loss Framing: Explaining the Empirical Evidence. *Wharton Pension Research Council Working Paper*, (2022-02).
- ElBahrawy, A., Alessandretti, L., Kandler, A., Pastor-Satorras, R., & Baronchelli, A. (2017). Evolutionary dynamics of the cryptocurrency market. *Royal Society open science*, 4(11), 170623.
- Fabozzi, F. J., Focardi, S. M., & Kolm, P. N. (2006). Incorporating trading strategies in the Black-Litterman framework. *The Journal of Trading*, 1(2), 28-37.
- Fagereng, A., Gottlieb, C., & Guiso, L. (2017). Asset market participation and portfolio choice over the life-cycle. *The Journal of Finance*, 72(2), 705-750.
- Fama, E. F., & French, K. R. (2004). The capital asset pricing model: Theory and evidence. *Journal of economic perspectives*, 18(3), 25-46.
- FCA (2019). Guidance on Cryptoassets. Kättesaadav: https://www.fca.org.uk/publication/consultation/cp19-03.pdf?fbclid=IwAR0_5RHDR54TqXcsJyOHpVoj48YSF5b-7pPxxzmbRHeezwjxKUveLwqdpzA, 26. jaanuar 2022
- Federal Reserve Bank of St. Louis. *3-Month or 90-day Rates and Yields: Certificates of Deposit for the United States, Percent, Monthly, Not Seasonally Adjusted*. Kättesaadav: <https://fred.stlouisfed.org>, 9. märts 2022
- Fischer, D., Jordan, R. (1995). *Security Analysis and Portfolio Management* (6th ed.). New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Forsyth, P. A., Vetzal, K. R., & Westmacott, G. (2019). Management of portfolio depletion risk through optimal life cycle asset allocation. *North American Actuarial Journal*, 23(3), 447-468.
- FTSE Russell. *Russell 1000 Index Factsheet*. Kättesaadav: <https://research.ftserussell.com/Analytics/FactSheets/temp/2dcb3989-59f2-49b6-ba10-8581b280c5d9.pdf>, 8. veebruar 2022
- FTSE Russell. *Russell 2000 Index Factsheet*. Kättesaadav: <https://research.ftserussell.com/Analytics/FactSheets/temp/e4598ca8-4ab2-47c4-ac3b-d027f58d6d05.pdf>, 8. veebruar 2022
- FTSE Russell. *Russell US Indexes*. Kättesaadav: <https://www.ftserussell.com/products/indices/russell-us>, 8. veebruar 2022
- Gitman, L., Joehnk, M. (1988). *Fundamentals of Investing* (3rd ed.). New York: Happer & Row, Publishers.

- Gomes, F., & Michaelides, A. (2005). Optimal life-cycle asset allocation: Understanding the empirical evidence. *The Journal of Finance*, 60(2), 869-904.
- Harrison, J. M., & Kreps, D. M. (1978). Speculative investor behavior in a stock market with heterogeneous expectations. *The Quarterly Journal of Economics*, 92(2), 323-336.
- Holton, G. A. (2004). Defining risk. *Financial analysts journal*, 60(6), 19-25.
- Idzorek, T. (2007). A step-by-step guide to the Black-Litterman model: Incorporating user-specified confidence levels. In *Forecasting expected returns in the financial markets* (pp. 17-38). Academic Press.
- Kuning, S., Tuusis, D. (1995). Väärtpaperite portfellianalüüs. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Litterman, R., & He, G. (1999). The intuition behind black-litterman model portfolios. *Goldman Sachs Investment Management Research*.
- Liu, Y., & Tsyvinski, A. (2021). Risks and returns of cryptocurrency. *The Review of Financial Studies*, 34(6), 2689-2727.
- Liu, Y., Tsyvinski, A., & Wu, X. (2019). *Common risk factors in cryptocurrency* (No. w25882). National Bureau of Economic Research.
- Maginn, J. L., Tuttle, D. L., McLeavey, D. W., & Pinto, J. E. (Eds.). (2007). *Managing investment portfolios: a dynamic process* (Vol. 3). John Wiley & Sons.
- Mangram, Myles E. "A simplified perspective of the Markowitz portfolio theory." *Global journal of business research* 7, no. 1 (2013): 59-70.
- Markowitz, H. M. (1991). Foundations of portfolio theory. *The journal of finance*, 46(2), 469-477.
- Markowitz, H. (1952). The utility of wealth. *Journal of political Economy*, 60(2), 151-158.
- Michaelides, A., & Zhang, Y. (2017). Stock market mean reversion and portfolio choice over the life cycle. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 52(3), 1183-1209.
- Milligan, K. (2005). Life-cycle asset accumulation and allocation in Canada. *Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'économique*, 38(3), 1057-1106.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized Business Review*, 21260.
- Nasdaq Data Link. *Crypto Asset Ratios and Sentiment*. Kättesaadav: <https://data.nasdaq.com>, 9. märts 2022
- Organization for Economic Co-operation and Development (FRED): *3-Month or 90-day Rates and Yields: Eurodollar Deposits for the United States*, Kättesaadav: <https://fred.stlouisfed.org/series/IR3TED01USM156N>, 9. veebruar 2022

- Peijnenburg, K. (2018). Life-cycle asset allocation with ambiguity aversion and learning. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 53(5), 1963-1994.
- Ponds, E. H., & Molenaar, R. (2011). Risk sharing and individual lifecycle investing in funded collective pensions. *Available at SSRN 1738229*.
- Rauchs, M., & Hileman, G. (2017). Global cryptocurrency benchmarking study. *Cambridge Centre for Alternative Finance Reports*.
- Sander, P. (1999) Portfelliteooria I. – Tartu: Tartu Ülikooli kirjastus
- Shefrin, H. M., & Thaler, R. H. (1988). The behavioral life-cycle hypothesis. *Economic inquiry*, 26(4), 609-643.
- The Vanguard Group. *Vanguard Corporate Bond Index Fund*. Kättesaadav: <https://investor.vanguard.com/mutual-funds/profile/vicsx>, 9. veebruar 2022
- The Vanguard Group. *Vanguard Materials Index Fund*. Kättesaadav: <https://investor.vanguard.com/mutual-funds/profile/overview/vmiacx>, 2. märts 2022
- The Vanguard Group. *Vanguard Real Estate Index Fund*. Kättesaadav: <https://investor.vanguard.com/mutual-funds/profile/overview/vgslx>, 2. märts 2022
- The Vanguard Group. *Vanguard Treasury Index Fund*. Kättesaadav: <https://investor.vanguard.com/mutual-funds/profile/overview/vsigx>, 9. veebruar 2022
- Vörklaev, E. (2007). Investeerimise põhitõed. – *Investeerimise teejuht*. (Toim.) A., Nurga. Tallinn: Äripäev, 79–100.
- Wallick, D. W., Wimmer, B. R., & Martielli, J. D. (2013). The Case for Vanguard Active Management: Solving the Low-Cost/Top-Talent Paradox.
- Walters, C. F. A. (2014). The Black-Litterman model in detail. *Available at SSRN 1314585*.
- Wüst, K., & Gervais, A. (2018, June). Do you need a blockchain?. In *2018 Crypto Valley Conference on Blockchain Technology (CVCBT)* (pp. 45-54). IEEE.
- Yli-Huumo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S., & Smolander, K. (2016). Where is current research on blockchain technology? — a systematic review. *PloS one*, 11(10), e0163477.
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, X., & Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352-375.

LISAD

Lisa 1. Portfellide Sharpe'i suhtarv, oodatav tulumäär ja standardhälve

	Sharpe'i suhtarv	Oodatav tulumäär	Standardhälve
Turuportfell BTC	1.62	5.88%	3.36%
Max portfell BTC	0.76	151.02%	198.72%
Min portfell BTC	0.90	2.22%	1.99%
Turuportfell indeks	1.48	5.05%	3.13%
Max portfell indeks	0.72	123.30%	171.29%
Min portfell indeks	-0.18	0%	2.39%

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused (baas-stsenaarium)

Lisa 2. Varaklasside dispersiooni-kovariatsioonimaatriks (indeksiga mudel)

	Madala turukap. aktsiad	Kõrge turukap. aktsiad	Ettevõtete võlakirjad	USA riigi võlakirjad	Kinnisvara	Toorained	Raha	Krüpto indeks
Madala turukap. aktsiad	0.042640	0.028700	0.005066	-0.003203	0.025140	0.033223	-0.001309	0.031537
Kõrge turukap. aktsiad	0.028700	0.024885	0.004105	-0.002058	0.020648	0.027501	-0.001002	0.028185
Ettevõtete võlakirjad	0.005066	0.004105	0.002963	0.000443	0.005405	0.004389	0.000146	0.006410
USA riigi võlakirjad	-0.003203	-0.002058	0.000443	0.001048	-0.000980	-0.002658	0.000305	-0.004206
Kinnisvara	0.025140	0.020648	0.005405	-0.000980	0.029037	0.023036	-0.000663	0.011156
Toorained	0.033223	0.027501	0.004389	-0.002658	0.023036	0.037803	-0.001573	0.036592
Raha	-0.001309	-0.001002	0.000146	0.000305	-0.000663	-0.001573	0.001020	-0.008264
Krüpto indeks	0.031537	0.028185	0.006410	-0.004206	0.011156	0.036592	-0.008264	2.933939

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 3. Varaklasside korrelatsioonimaatriks (indeksiga mudel)

	Madala turukap. aktsiad	Kõrge turukap. aktsiad	Ettevõtete võlakirjad	USA riigi võlakirjad	Kinnisvara	Toorained	Raha	Krüpto indeks
Madala turukap. aktsiad	1							
Kõrge turukap. aktsiad	0.895971	1						
Ettevõtete võlakirjad	0.458322	0.486125	1					
USA riigi võlakirjad	-0.487200	-0.409654	0.255497	1				
Kinnisvara	0.726587	0.781123	0.592564	-0.180632	1			
Toorained	0.841521	0.911817	0.421675	-0.429398	0.707083	1		
Raha	-0.208435	-0.213253	0.091581	0.297694	-0.126254	-0.271808	1	
Krüpto indeks	0.090675	0.106075	0.069915	-0.077115	0.038868	0.111737	-0.152452	1

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 4. Optimaalsed portfellid ilma kitsendusteta (indeksiga mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	Turuportfell	Maksimaalse tulumääraga portfell	Minimaalse riskiga portfell
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	0.1%	0%	5.3%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	0.9%	0%	0.4%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	0%	0%	0%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	85.7%	0%	79.2%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	12.7%	0%	3%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0%	0%	12%
Krüptovarad (krüptovarade indeks)	0.7%	100%	0.1%

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 5. Markowitzi optimaalsed portfelligid kitsendustega (indeksiga mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfelligis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	40.7%	32%	25%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	15%	15%	3.3%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0%	0%	5%
Krüptovarad (krüptovarade indeks)	4.3%	3%	1.7%
Portfelli oodatav tootlus	15.40%	12.22%	7.15%
Portfelli kogurisk	13.39%	9.90%	5.60%
Sharpe'i suhtarv	1.12	1.19	1.20

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 6. Black-Littermani optimaalsed portfellid positiivse ootuse alusel (indeksiga mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20.0%	15.0%	5.0%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	40.0%	28.5%	24.4%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	10.3%	15.0%	1.7%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20.0%	35.0%	60.0%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0.0%	0.0%	0.0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0.0%	0.0%	0.0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0.0%	0.0%	5.0%
Krüptovarad (krüptovarade indeks)	9.7%	6.5%	3.9%
Portfelli oodatav tootlus	37.23%	26.48%	15.80%
Portfelli kogurisk	20.31%	13.98%	8.30%
Sharpe'i suhtarv	1.81	1.86	1.85

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 7. Black-Littermani optimaalsed portfellid ilma ootuseta (indeksiga mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20.0%	15.0%	5.0%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	41.2%	32.3%	24.8%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	15.0%	15.0%	3.6%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20.0%	35.0%	60.0%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0.0%	0.0%	0.0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0.0%	0.0%	0.0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0.0%	0.0%	5.0%
Krüptovarad (krüptovarade indeks)	3.8%	2.7%	1.6%
Portfelli oodatav tootlus	16.25%	12.93%	7.40%
Portfelli kogurisk	12.90%	9.61%	5.42%
Sharpe'i suhtarv	1.23	1.3	1.29

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 8. Black-Littermani optimaalsed portfellid negatiivse ootuse alusel (indeksiga mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	45%	35%	25%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	15%	15%	5%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0%	0%	5%
Krüptovarad (krüptovarade indeks)	0%	0%	0%
Portfelli oodatav tootlus	12.67%	10.46%	5.84%
Portfelli kogurisk	11.08%	8.42%	4.58%
Sharpe'i suhtarv	1.10	1.19	1.18

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 9. Optimaalsed portfellid ilma krüptovaradeta

Markowitzi optimaalsed portfellid ilma krüptovaradeta (*bitcoiniga* mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	40%	25%	15.8%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	15%	15%	4.2%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0.4%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	4.6%	10%	15%
Krüptovarad (bitcoin)	0%	0%	0%
Portfelli oodatav tootlus	9.37%	7.08%	4.77%
Portfelli kogurisk	9.17%	6.07%	3.11%
Sharpe'i suhtarv	0.98	1.09	1.39

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 9 järg

Markowitzi optimaalsed portfelligid ilma krüptovaradeta (indeksiga mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	45%	35%	25%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	15%	15%	5%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0%	0%	5%
Krüptovarad (krüptovarade indeks)	0%	0%	0%
Portfelli oodatav tootlus	10.74%	8.99%	5.09%
Portfelli kogurisk	11.08%	8.42%	4.58%
Sharpe'i suhtarv	0.93	1.02	1.02

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 9 järg

Black-Littermani optimaalsed portfelligid ilma krüptovaradeta (*bitcoiniga* mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfelligis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	40%	25%	17.1%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	15%	15%	4.2%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	1%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	4%	10%	13.7%
Krüptovarad (bitcoin)	0%	0%	0%
Portfelli oodatav tootlus	10.83%	7.97%	5.33%
Portfelli kogurisk	9.25%	6.07%	3.25%
Sharpe'i suhtarv	1.12	1.24	1.51

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 9 järg

Black-Littermani optimaalsed portfelligid ilma krüptovaradeta (indeksiga mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfelligis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	45%	35%	25%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	15%	15%	5%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0%	0%	5%
Krüptovarad (krüptovarade indeks)	0%	0%	0%
Portfelli oodatav tootlus	12.09%	9.96%	5.42%
Portfelli kogurisk	11.08%	8.42%	4.58%
Sharpe'i suhtarv	1.05	1.13	1.09

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 10. Markowitzi ja Black-Littermani võrdsete osakaaludega portfellid

Markowitzi ja Black-Littermani võrdsete osakaaludega portfellid (*bitcoiniga* mudel)

Varaklassid	Markowitzi mudel	Black-Littermani mudel
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	12.5%	12.5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	12.5%	12.5%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	12.5%	12.5%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	12.5%	12.5%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	12.5%	12.5%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	12.5%	12.5%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	12.5%	12.5%
Krüptovarad (bitcoin)	12.5%	12.5%
Portfelli oodatav tootlus	26.70%	44.54%
Portfelli kogurisk	26.97%	26.97%
Sharpe'i suhtarv	0.97	1.64

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 10 järg

Markowitzi ja Black-Littermani võrdsete osakaaludega portfellid (indeksiga mudel)

Varaklassid	Markowitzi mudel	Black-Littermani mudel
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	12.5%	12.5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	12.5%	12.5%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	12.5%	12.5%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	12.5%	12.5%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	12.5%	12.5%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	12.5%	12.5%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	12.5%	12.5%
Krüptovarad (krüptovarade indeks)	12.5%	12.5%
Portfelli oodatav tootlus	19.42%	38.89%
Portfelli kogurisk	23.74%	23.74%
Sharpe'i suhtarv	0.80	1.62

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 11. Täiendava analüüsi tulemused ilma kitsendusteta

Täiendava analüüsi tulemused ilma kitsendusteta (*bitcoiniga* mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	100% kõrgem oodatav tootlus	200% kõrgem oodatav tootlus	150% madalam oodatav tootlus
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	0%	0%	0%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	19.2%	17.7%	23%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	0%	0%	0%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	64.8%	63.5%	68.6%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	14.8%	17.2%	8.4%
Krüptovarad (bitcoin)	1.1%	1.6%	0%
Portfelli oodatav tootlus	7.71%	10.09%	5.50%
Portfelli kogurisk	3.69%	4.17%	3.24%
Sharpe'i suhtarv	1.97	2.32	1.56

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 11 järg

Täiendava analüüsi tulemused ilma kitsendusteta (indeksiga mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	100% kõrgem oodatav tootlus	200% kõrgem oodatav tootlus	100% madalam oodatav tootlus
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	0%	0%	0%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	20.3%	17.6%	20.4%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	0%	0%	0%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	79.7%	80.3%	79.5%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0%	0%	0%
Krüptovarad (krüptovarade indeks)	0%	2.1%	0.1%
Portfelli oodatav tootlus	5.68%	11.82%	5.65%
Portfelli kogurisk	3.20%	4.66%	3.22%
Sharpe'i suhtarv	1.64	2.45	1.62

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 12. Täiendava analüüsi tulemused 100% kõrgem oodatav tootlus

Täiendava analüüsi tulemused kitsendustega 100% kõrgem oodatav tootlus (*bitcoiniga* mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	40%	25%	15%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	14.7%	15%	3.9%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0%	6.8%	14.9%
Krüptovarad (bitcoin)	5.3%	3.2%	1.2%
Portfelli oodatav tootlus	23.68%	15.78%	8.10%
Portfelli kogurisk	14.80%	9.26%	4.02%
Sharpe'i suhtarv	1.57	1.66	1.91

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 12 järg

Täiendava analüüsi tulemused kitsendustega 100% kõrgem oodatav tootlus (indeksiga mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	40%	29.7%	23.9%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	15%	15%	3%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0%	0%	5%
Krüptovarad (krüptovarade indeks)	5%	5.3%	3.1%
Portfelli oodatav tootlus	22.52%	20.93%	12.25%
Portfelli kogurisk	14.05%	12.33%	7.14%
Sharpe'i suhtarv	1.57	1.66	1.66

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 13. Täiendava analüüsi tulemused 200% kõrgem oodatav tootlus

Täiendava analüüsi tulemused kitsendustega 200% kõrgem oodatav tootlus (*bitcoiniga* mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	40%	25%	15%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	11.8%	15%	3.9%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0%	5.1%	14.3%
Krüptovarad (bitcoin)	8.2%	4.9%	1.8%
Portfelli oodatav tootlus	39.14%	24.95%	11.35%
Portfelli kogurisk	19.75%	12.07%	4.85%
Sharpe'i suhtarv	1.96	2.03	2.25

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 13 järg

Täiendava analüüsi tulemused kitsendustega 200% kõrgem oodatav tootlus (indeksiga mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	40%	27.2%	19.6%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	8%	15%	6.4%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0%	0%	5%
Krüptovarad (krüptovarade indeks)	12%	7.8%	3.9%
Portfelli oodatav tootlus	49.78%	34.13%	17.46%
Portfelli kogurisk	23.74%	15.85%	8.01%
Sharpe'i suhtarv	2.08	2.13	2.13

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 14. Täiendava analüüsi tulemused madalam oodatav tootlus

Täiendava analüüsi tulemused kitsendustega 150% madalam oodatav tootlus (*bitcoiniga* mudel)

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	40%	25%	16.3%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	15%	15%	3.7%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	1.9%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	3.1%	10%	15%
Krüptovarad (bitcoin)	0%	0%	0%
Portfelli oodatav tootlus	10.80%	7.88%	5.17%
Portfelli kogurisk	9.37%	6.07%	3.15%
Sharpe'i suhtarv	1.11	1.23	1.50

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 14 järg

Täiendava analüüsi tulemused kitsendustega 100% madalam oodatav tootlus

Varaklassid	Varaklassi osakaal portfellis		
	Noorus (vanus 21-35)	Konsolideerumine (vanus 36-65)	Pensionipõlv (vanus 66-80)
Madala turuväärtusega aktsiad (Russell 2000 indeks)	20%	15%	5%
Kõrge turuväärtusega aktsiad (Russell 1000 indeks)	44.8%	34.9%	25%
Ettevõtete võlakirjad (Vanguard Corporate Bond indeks)	15%	15%	4.9%
USA riigi võlakirjad (Vanguard Treasury indeks)	20%	35%	60%
Kinnisvara (Vanguard Real Estate indeks)	0%	0%	0%
Toorained (Vanguard Materials indeks)	0%	0%	0%
Raha ja ekvivalent (USA 3-kuuline deposiithoius)	0%	0%	5%
Krüptovarad (krüptovarade indeks)	0.2%	0.1%	0.1%
Portfelli oodatav tootlus	12.18%	10.07%	5.57%
Portfelli kogurisk	11.09%	8.42%	4.60%
Sharpe'i suhtarv	1.06	1.14	1.12

Allikas: Mursula (2022), autori arvutused

Lisa 15. Lihtlitsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Jasmin Michelle Mursula,

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Krüptovarade optimaalne osakaal erainvestori investeerimisportfellis“, mille juhendaja on Kristjan Liivamägi,
 - 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
 2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.
-

10.05.2022

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. jq 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.