

DAUGIAKRITERIŲ METODŲ TAIKYMAS KRIPTOVALIUTŲ ATRANKAI SUDARANT PORTFELĮ

Greta MARKUTĖ*, Grigorij ŽILINSKIJ

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Verslo vadybos fakultetas,
Finansų inžinerijos katedra, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva

*El. paštas greta.markute@stud.vilniustech.lt

Gauta 2023 m. vasario 20 d.; priimta 2023 m. birželio 15 d.

Santrauka. Kriptovaliutų rinkos vertė 2022 m. pabaigoje siekė 800 mlrd. JAV dolerių. Rinkai sparčiai augant ir bręstant, susidomėjimas investicijomis į kriptovaliutas padidėjo ne tik tarp privačių investuotojų, bet ir bankų, pensijų fondų ir kitų institucijų. Investavimas į kriptovaliutas yra susijęs ne tik su didele tikėtina grąža, tačiau ir itin aukšta rizika. Kaip ir akcijų rinkoje, taip ir kriptovaliutų rinkoje investuotojai susiduria su investicijų atrankos problema sudarant portfelį. Šio mokslinio straipsnio pagrindinis tikslas yra nustatyti, kurios kriptovaliutos yra patraukliausios investuotojui ir turėtų būti įtrauktos į investicinį portfelį. Darbe analizuojamos 10 didžiausių kriptovaliutų pagal rinkos kapitalizaciją atsižvelgiant į 5 pasirinktus kriterijus. Daugiakriteriai metodai leidžia kompleksiskai įvertinti ir atrinkti potencialiai investuotojui patraukliausias kriptovaliutas. Šiame tyrime taikomi daugiakriteriai vertinimo metodai – SAW, TOPSIS ir EDAS. Gauti rezultatai rodo, kad tinkamiausios kriptovaliutos investicijoms yra *Bitcoin* ir *Ethereum*. Šiame tyrime pateikiamas metodas gali būti pritaikomas praktikoje vykdant kriptovaliutų atranką.

Reikšminiai žodžiai: kriptovaliutos, daugiakriteriai metodai, SAW, TOPSIS, EDAS, investicijų portfelis.

Įvadas

Kriptovaliutos – tai skaitmeninės valiutos, leidžiančios anonimiškai atlikti internetinius mokėjimus tiesiogiai tarp vartotojų, eliminuojant bankų ar kitų tarpininkų veiklą. Vis dėlto nuo pirmosios kriptovaliutos *Bitcoin* sukūrimo 2008 m. iki dabar kriptovaliutos sulaukia vis didėjančio susidomėjimo ne kaip valiutos, o kaip investicinės priemonės. Dauguma neprofesionalių investuotojų finansų rinkose praranda investuotus pinigus. Priežasčių, kodėl taip nutinka, yra daug: žinių trūkumas, nemokėjimas valdyti prisiimamos rizikos, finansinių priemonių nesupratimas, aiškaus tikslo neturėjimas ir t. t. Nepaisant to, vis dar gana nauja kriptovaliutų rinka traukia ne tik spekuliantų, tačiau ir patyrusių investuotojų dėmesį. Be to, blokų grandinės (angl. *blockchain*) technologijos pranašumai prisidėjo prie augančio kriptovaliutų rinkos vaidmens (Mokni & Ajmi, 2021). Svetainės *CoinMarketCap* duomenimis, šiandien priskaičiuojama daugiau nei 22 000 skirtingų kriptovaliutų (*CoinMarketCap*, 2022). Nors *Bitcoin* vis dar išlieka populiariausia kriptovaliuta, investuotojai ne mažiau domisi ir kitomis kriptovaliutomis (angl. *altcoins*), tikėdamiesi uždirbti iš kainos prieaugio per tam

tikrą laiką, norėdami apsisaugoti nuo infliacijos ar investuodami savo ateičiai. Kriptovaliutų rinka yra labai sparčiai auganti, todėl jai būdingi itin dideli svyravimai, kurie daliai investuotojų gali būti nepriimtini. Vis dėl to, aukšta rizika yra susijusi ir su didesne tikėtina investicijų grąža. Augantis investuotojų susidomėjimas kriptovaliutų rinka didina poreikį tyrimams, kuriuose analizuojamos ne tik pavienės kriptovaliutos, o ir jų aibės bei iš jų sudaryti portfeliai.

Čia, kaip ir tradicinėje finansų rinkoje, susiduriama su investicijų atrankos problema. Didžiausias iššūkis yra tai, kad norint sudaryti optimalų investicijų portfelį neužtenka atsižvelgti tik į istorinius kainų pokyčius, bet verta įtraukti ir daugiau faktorių, lemiančių kriptovaliutos patrauklumą investuotojams. Egzistuoja labai daug rodiklių, kurie gali būti įtraukiami į analizę. Šiam tikslui pasitelkiami daugiakriteriai vertinimo metodai, kuriuos taikant iš duotųjų alternatyvų galima atrinkti geriausią variantą. Šie metodai gali būti pritaikyti ne tik akcijų, bet ir kriptovaliutų rinkai.

Tyrimo problema – kaip tikslingai atrinkti patraukliausias kriptovaliutas investavimui formuojant kriptovaliutų portfelį?

Tyrimo objektas – kriptovaliutos.

Tyrimo tikslas – nustatyti, kurios kriptovaliutos yra patraukliausios investuotojui ir turėtų būti įtrauktos į investicinį portfelį.

Tiksliui pasiekti iškelti šie uždaviniai:

1. Išanalizuoti kriptovaliutų, kaip investicinės priemonės, teorinius aspektus.
2. Parengti daugiakriterių sprendimo priėmimų metodų taikymo kriptovaliutų atrankai metodiką.
3. Atlikti kriptovaliutų rangavimą ir pateikti skirtingų kriptovaliutų įtraukimo į portfelį pagrindimą.

Tiksliui įgyvendinti atliekama mokslinės literatūros analizė, kriptovaliutų rinkos statistinių duomenų analizė, sisteminimas, lyginimas, taikomi daugiakriteriniai vertinimo metodai – SAW, TOPSIS ir EDAS.

1. Kriptovaliutų rinkos teoriniai aspektai

2008 m. pabaigoje nežinomas asmuo slapyvardžiu „Satoshi Nakamoto“ publikavo darbą, kuriame buvo aprašytas pirmosios skaitmeninės valiutos, pavadintos *Bitcoin*, įgyvendinimas, naudojant blokų grandinės technologiją. Praėjus daugiau nei dešimtmečiui, tūkstančiai kriptovaliutų ir daugybė kitų blokų grandinės technologijos pritaikymų yra prieinami visuomenei. Kriptovaliuta reiškia tokį skaitmeninio turto tipą, kuris naudoja blokų grandinės technologiją ir taip užtikrina saugias operacijas tarp vartotojų. Kiekviena atlikta operacija yra matoma atvirose priemonėse tinkle, kuris yra visiškai decentralizuotas (Härdle et al., 2020).

Kriptovaliutos, kurios neretai vadinamos skaitmeniniu turtu, buvo sukurtos kaip atsvara esamai finansinei sistemai. Pats pavadinimas sufleruoja, kad siekiant sukurti mainų sistemą, kuri būtų panaši į tradicinius pinigus, buvo pasitelkta kriptografija. Kaip dauguma tradicinių valiutų, kurios nebėra susietos su auksu, kriptovaliutų vertė nustatoma per sandorių kiekį. Vis dėlto nuo tradicinių valiutų jos išsiskiria keliais svarbiais bruožais. Visų pirma, kriptovaliutos nėra kontroliuojamos jokio centrinio banko. Jokia organizacija ar agentūra neužtikrina jų vertės ir neišleidžia daugiau valiutos į sistemą, todėl kriptovaliutos dažnai apibrėžiamos kaip decentralizuotos valiutos (Tredinnick, 2019). Iš čia išplaukia kitas labai svarbus skirtumas nuo tradicinių valiutų – ribota pasiūla. Pirmoji kriptovaliuta *Bitcoin* buvo sukurta su iš anksto apribotu maksimaliu jos kiekiu – 21 mln. Taip buvo atkreiptas žmonių dėmesys į ilgalaikę viso pasaulio finansinės sistemos problemą – pinigų „spausdinimą“.

Prekyba kriptovaliutomis yra viena greičiausiai augančių rinkų pasaulyje. Vienos iš didžiųjų kriptovaliutų biržų – *Crypto.com* atliktas tyrimas rodo, kad kriptovaliutų naudotojų skaičius 2022 m. pasiekė 402 mln. Prognozuojama, kad šis skaičius 2023 m. gali išaugti iki

600–800 mln. (Crypto.com, 2022). Augimas vyksta taip greitai, kad prieš kelis mėnesius pateikti skaičiai jau yra gerokai neįvertinti. Mažmeninių investuotojų skaičiaus augimas lygiagretus su pačiu kriptovaliutų rinkos augimu. Didėjantis investuotojų susidomėjimas ir žiniasklaidos dėmesys sukėlė diskusijų apie tai, ar plačioji bendruomenė gali visiškai suvokti riziką ir žalą, kuri gali būti susijusi su šia veikla. Tai yra svarbu ypač tada, kai žiniasklaidos veikla gali sutelkti dėmesį į nedidelę ankstyvųjų investuotojų mažumą, kuri pasiekė finansinę naudą daugiausia dėl istorinių veiksmų (pvz., įsigijo *Bitcoin* labai anksti) arba laikė kriptovaliutas gerokai prieš periodinių bulių ciklą (angl. *bull market*) pradžią (Delfabbro et al., 2021). Vis dėlto sparčiai augusi kriptovaliutų rinka pastaraisiais metais susidūrė su kritimu. Nuosmukis, susijęs su pastarųjų kelerių metų makroekonominiais įvykiais, COVID-19 viruso išplitimu, karu Ukrainoje, pasaulio centrinių bankų pozicija, paveikė ne tik smarkiai svyruojančią kriptovaliutų rinką, tačiau ir akcijų rinką (Fernández et al., 2021; Boungou & Yatié, 2022). Vis dėlto investuotojai su nekantrumu stebi, kaip kriptovaliutų rinka išgyvens prognozuojamą recesiją (Ajello et al., 2022).

Kriptovaliutų rinką stebi ne tik mažmeniniai investuotojai, tačiau ir didieji pasaulio bankai. Kriptovaliutomis sulaukus didelio dėmesio finansų rinkoje, jos tampa vis populiareesnės tarp institucinių investicijų valdytojų portfelių. Atlikti tyrimai rodo, kad gerai žinomos ir patikimos kriptovaliutos, pvz., *Bitcoin*, gali būti tinkamos instituciniams investuotojams (Sun et al., 2021). Pagrindinė problema, su kuria susiduriama, – neaiškus ir nepakankamas kriptovaliutų rinkos reguliavimas. Ir nors apie tai daug kalbama, nesant tinkamo reguliavimo, didelė dalis institucinių investuotojų susilaiko nuo investicijų į kriptovaliutų rinką, nes neaišku, kokią įtaką tai turės tiek kriptovaliutų kainoms, tiek pačiai rinkai. Manoma, kad trumpuoju laikotarpiu griežtesnis reguliavimas rinką gali paveikti neigiamai (Bender, 2022).

Finansų rinkose ciklus yra įprasta vadinti bulių ir meškų rinkomis (angl. *bull – bear markets*). Bulių rinkoje tikimasi investicijų augimo ir vyrauja pakilios investuotojų nuotaikos. Meškų rinkoje viskas atvirkščiai – laukiama kainų mažėjimo. Tiek akcijų, tiek kriptovaliutų rinkos pasižymi tam tikru cikliškumu. Kadangi kriptovaliutų rinka yra besivystanti, jos ciklai yra trumpesni ir trunka apie ketverius metus. Per tą laikotarpį kriptovaliutos praeina tiek bulių, tiek meškų rinkas (Masiak et al., n.d.). Manoma, kad ciklai yra susiję su *Bitcoin* kriptovaliutos atidalijimo (angl. *halving*) procesu, t. y. kas ketverius metus atlygis už „iškasamą“ *Bitcoin* kriptovaliutą sumažėja perpus ir tai turi įtakos visai kriptovaliutų rinkai (Meynkhard, 2019). Kaip parodyta 1 lentelėje, maksimalus *Bitcoin* kriptovaliutos kiekis, kuris

1 lentelė. Kriptovaliutos *Bitcoin* emisija (Meynkhard, 2019)

Metai	Blokų skaičius	Atlygis (BTC)	„Iškastų“ <i>Bitcoin</i> kiekis	„Iškastų“ <i>Bitcoin</i> kiekis proc.	Suminis „iškastų“ <i>Bitcoin</i> kiekis
2009	210,000	50	10,500,000.00	50 %	10,500,000.00
2012	420,000	25	5,250,000.00	25 %	15,750,000.00
2016	630,000	12,5	2,625,000.00	12,5 %	18,375,000.00
2020	840,000	6,25	1,312,500.00	6,25 %	19,687,500.00
2024	1,050,000	3,125	656,250.00	3,125 %	20,343,750.00
...
2140	6,930,000	0,00	≈ 0,001222534	0,00 %	21,000,000.00

kada nors bus „iškastas“, yra 21 mln. Dėl savo retumo *Bitcoin* kriptovaliuta neretai vadinama skaitmeniniu auksu (Selmi et al., 2022). Likusios kriptovaliutos stipriai koreliuoja su *Bitcoin* ciklais. Istoriniai, svetainės *Coin-MarketCap* duomenys rodo, kad, kriptovaliutai *Bitcoin* esant bulių rinkoje, kyla ir kitų kriptovaliutų kaina. Dėl didelių kainų svyravimų ir didelės tikėtinos investicijų grąžos kriptovaliutų rinka tampa vis patrauklesnė tiek mažmeniniams, tiek instituciniams investuotojams.

Įvertinus anksčiau išvardintus kriptovaliutų rinkos aspektus ir tendencijas kyla natūralus poreikis į šią rinką pažvelgti iš investicinės pusės ir kalbėti ne tik apie pavienes kriptovaliutas, tačiau ir apie iš jų sudarytą investicijų portfelį. Investicijų portfelis yra apibrėžiamas kaip investuotojui priklausančių vertybinių popierių ir kito investicinio turto visuma (Česnulevičiūtė, 2015). Kuriant optimalų investicijų portfelį reikia ne tik nustatyti investicijų portfelio paskirstymą, tačiau ir pasirinkti priemones, į kurias investuosime. Kadangi kriptovaliutų rinka yra labai svyruojanti, joje tai padaryti ypač sudėtinga. Atlikti tyrimai rodo, kad jaunoji karta į kriptovaliutas investuoja vedina spekuliatyvių tikslų ir atsirinkdama kriptovaliutas didelį dėmesį kreipia į socialines žiniasklaidos priemones, draugų patarimus, to meto populiarias tendencijas, o kartais investuoja tiesiog iš smalsumo (Bonaparte, 2021; Sandi & Oktavia, 2022; Patil, 2019). Vis dėlto, analizuodami mokslinę literatūrą, randame ir statistinių kriptovaliutų atrankos metodų. Siekiant kriptovaliutas įvertinti pagal daugelį kriterijų, taikomi daugiakriteriniai sprendimų priėmimo metodai. Daugiakriteriniai metodai yra struktūrinti daugialypiai procesai, sukurti siekiant priimti sprendimus įvairiose srityse ieškant patraukliausios alternatyvos bei atsižvelgiant į svarbiausius kriterijus (Eltarabishi et al., 2020). Kalbant apie kriptovaliutų rinką, mokslinių tyrimų, kuriuose būtų taikomi daugiakriteriniai metodai, nėra daug. Galime rasti pavyzdžių, kuriuose jie taikomi tokiems tyrimams, pvz.: kriptovaliutų keityklų palyginimas (Wang et al., 2022); priežastims, dėl kurių investuojama į kriptovaliutas, tirti (Gupta et al., 2020); blokų grandinės platformos / protokolo pasirinkimas (Erol et al.,

2023; Farshidi et al., 2020; Filatovas et al., 2022; Ilieva et al., 2021; Zaher & ElGhitany, 2021); blokų grandinės technologijų rizikos vertinimas (Ozkan et al., 2019) ir kt. Taip pat kai kuriuose darbuose tiriama kriptovaliutų pasirinkimo problematika. Aljinovic & Marasovic (2021) tiria PROMETHEE II pagrįstą daugiakriterinį metodą kriptovaliutų portfeliui pasirinkti. Toks metodas leidžia atsižvelgti į daugybę kriptovaliutoms svarbių kintamųjų, o ne apriboti juos įprasta grąža ir rizika. Siūlomas daugiakriterinis sprendimų priėmimo modelis atrenka geriausią kriptovaliutų portfelį, atsižvelgiant į kriptovaliutų dienos grąžą, standartinį nuokrypį, vertės pokyčio riziką (angl. *value-at-risk*), sąlyginę vertės pokyčio riziką (angl. *conditional value-at-risk*), prekybos apimtį, rinkos kapitalizaciją ir kriptovaliutos patrauklumą. Ecer, Böyükaslan ir Zolfani (2022) savo moksliniame darbe siekia atrinkti geriausias kriptovaliutas investicijoms, šiam tikslui pasitelkdami daugiakriterinius sprendimų priėmimo metodus: EDAS (angl. *Evaluation Based on Distance from Average Solution*); MAIRCA (angl. *Multi-Attributive Ideal Real Comparative Analysis*) ir MARCOS (angl. *Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution*). Nepaisant to, kad buvo taikyti 3 skirtingi metodai, gauti rezultatai buvo labai nuoseklūs. Geriausios kriptovaliutos investicijoms – *Ethereum*, *Tether* ir *Bitcoin*. Kriptovaliutos buvo vertinamos pagal 16 faktorių, tarp kurių rizika, grąža, kainos svyravimai ir pastovumas, kriptovaliutos sukūrimo tikslas, prekybos apimtis, programinės sistemos patikimumas ir kt. (Ecer et al., 2022). N. Maknickienė ir G. Vaseris kriptovaliutų atrankai taiko TOPSIS daugiakriterinį metodą ir šiuos pagrindinius kriterijus: kriptovaliutos kaina; rinkos kapitalizacija; užimamos rinkos dydis (%); apyvarta; kainos kintamumas; standartinis nuokrypis. Autoriai taip pat pasirinko vertinti 10 didžiausių kriptovaliutų pagal rinkos kapitalizaciją. Jų gauti rezultatai parodė, kad *Bitcoin* kriptovaliuta išlieka patraukliausia su mažiausiai rizikos veiksnių. Antroje vietoje – *Ethereum* kriptovaliuta (Maknickienė & Vaseris, 2022). Iš atliktų mokslinių tyrimų matome, kad daugiakriteriniai metodai gali būti pritaikyti kriptovaliutų pasirinkimo problemai spręsti.

2. Metodologija

Skirtingi daugiakriteriai vertinimo metodai gali duoti skirtingus rezultatus (Kabassi et al., 2022). Šiame darbe kriptovaliutų atrankai bus taikomi 3 daugiakriteriai metodai, siekiant gauti tikslesnius rezultatus ir palyginti juos tarpusavyje. Kriptovaliutoms ranguoti taikomi daugiakriteriai metodai – SAW, TOPSIS ir EDAS. SAW metodas buvo pasirinktas dėl gana intuityvaus ir nesudėtingo pritaikymo praktikoje. Atliekant skaičiavimus TOPSIS metodu, kiekvienas rodiklis turi savo reikšmingumą, apribojimų juos nustatant nėra ir jų suma nebūtinai turi būti lygi vienetui (Poteiko & Martinkutė-Kaulienė, 2022). Taikant EDAS metodą, skaičiuojamas atstumas nuo vidurkio, todėl gaunamas tikslesnis rezultatas (Zhang, Gao, et al., 2019). Be to, EDAS metodas gerai dera su kitais metodais ir yra naudingas, kai turime prieštaraujančius kriterijus (Ghorabae et al., 2015). Išanalizavus mokslinę literatūrą, buvo pasirinkti 5 kriterijai, pagal kuriuos bus ranguojamos kriptovaliutos. Atrinktos 10 didžiausių kriptovaliutų pagal rinkos kapitalizaciją yra pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. 10 didžiausių kriptovaliutų rinkos kapitalizacija 2022-12-18 ir jų investicinė grąža nuo sukūrimo pradžios. CoinMarketCap svetainės duomenys (sudaryta autorių)

Kriptovaliutos pavadinimas	Rinkos kapitalizacija (USD)	Grąža %
Bitcoin (BTC)	322,379,914,497.22	43,992,118
Ethereum (ETH)	144,978,183,335.92	66,989
Binance Coin (BNB)	40,176,732,867.75	265,516
Ripple (XRP)	17,633,841,639.89	8,984
Dogecoin (DOGE)	10,433,338,197.41	12,924
Cardano (ADA)	9,184,444,798.50	1,654
Polygon (MATIC)	7,108,547,487.79	19,826
Polkadot (DOT)	5,355,944,460.95	91,08
Tron (TRX)	4,949,745,275.60	3,892
Shiba Inu (SHIB)	4,703,086,791.68	535,442

Kriterijų, pagal kuriuos bus ranguojamos kriptovaliutos, sąrašas:

- *Rinkos kapitalizacija (USD)* – maksimizuojantis kriterijus (K1). Rinkos kapitalizacija – rodiklis, parodantis tam tikros kriptovaliutos rinkos vertę ir dydį, lyginant su kitomis kriptovaliutomis. Kriptovaliutos rinkos kapitalizacija analogiškai su akcijų rinka yra lygi kriptovaliutos kainai, padaugintai iš kiekio, kuris cirkuliuoja rinkoje (Aljinović et al., 2021). Nors kriptovaliutų rinkoje rizika išlieka labai aukšta, lyginant ją su akcijų rinka, tačiau kuo didesnė rinkos kapitalizacija, tuo mažiau rizikinga investicija, ir atvirkščiai. Rinkos kapitalizacija buvo

naudojama kaip pagrindinis kriterijus atrenkant 10 kriptovaliutų, analizuojamų darbe, tačiau dėl jos svarbumo ji imama ir ranguojant atrinktas kriptovaliutas tarpusavyje.

- *Vidutinė prekybos apimtis (USD)* – maksimizuojantis kriterijus (K2). Šis rodiklis parodo vidutinę sumą, už kurią kriptovaliuta buvo nupirkta ar parduota per tam tikrą laiko tarpą. Neretai šis rodiklis taip pat yra naudojamas kalbant apie finansinių priemonių likvidumą. Likvidumas – tai galimybė nupirkti ar parduoti pasirinktą finansinę priemonę greitai ir nepadarant didelės įtakos jo kainai (Bianchi et al., 2022). Dėl santykinai žemos rinkos kapitalizacijos kriptovaliutų rinka paprastai laikoma daug mažiau likvidžia, lyginant su tradicinėmis turto klasėmis (Makarov & Schoar, 2022). Vis dėlto tai neturi didelės įtakos mažmeniniams investuotojams, kadangi jų prekybos apimtys yra santykinai mažos. Be likvidumo, prekybos apimtis gali parodyti ir kriptovaliutos populiarumą tarp investuotojų (Chen et al., 2022). Apibendrinant, kuo didesnė vidutinė prekybos apimtis, tuo kriptovaliuta likvidesnė ir populiarsnė tarp investuotojų. Tai gali turėti įtakos kriptovaliutos kainos augimui.
- *Vidutinė mėnesinė praėjusių 2 metų grąža (%)* – maksimizuojantis kriterijus (K3). Dėl duomenų ribotumo, kadangi kriptovaliutų rinka gana nauja, imama tik 2 praėjusių metų vidutinė mėnesinė grąža. Ankstesni duomenys neanalizuojami, nes kai kurios kriptovaliutos, esančios sąrašė, buvo sukurtos vėliau.
- *Maksimalus kainos sumažėjimas (%) (angl. draw-down)* – minimizuojantis kriterijus (K4). Kadangi kriptovaliutų rinka, kaip ir akcijų rinka, juda ciklais ir 2022 m. prarado nemažai vertės, į analizę tikslinga įtraukti ir procentinį kainos sumažėjimą, t. y. procentinį skirtumą tarp paskutinės aukščiausios kainos (angl. *all time high*) ir paskutinės žemiausios kainos. Mažesnis kainos kritimas rodo, kad kriptovaliuta yra atsparesnė visos rinkos svyravimams ir makroekonominiais faktoriams. Šis rodiklis yra vienas iš plačiai naudojamų rizikos matavimo rodiklių finansų rinkose (Goldberg & Mahmoud, 2017).
- *Kriptovaliutos pasiūla* – minimizuojantis kriterijus (K5). Maksimali Bitcoin kriptovaliutos emisija yra 21 mln. Analogiškai kitų kriptovaliutų protokoluose taip pat yra užkoduotas maksimalus jos kiekis. Šiame darbe tiriama ne maksimalus kriptovaliutos kiekis, tačiau bendras kiekis, šiuo metu esantis rinkoje. Tai yra reikšmingas rodiklis kriptovaliutos kainai: kuo didesnis kriptovaliutos kiekis cirkuliuoja rinkoje, tuo kaina yra mažesnė.

SAW metodas

Paprastas adityvaus svorio metodas (SAW) yra vienas iš daugiakriterių metodų, taikomų investavimo priemonių atrankai. Churchman ir Ackoff (1954) pirmą kartą pritaikė SAW metodą sprendžiant portfelio atrankos problemą (Tzeng & Huang, 2011). Dėl savo paprastumo SAW metodas yra geriausiai žinomas ir plačiausiai taikomas daugiakriteris sprendimų priėmimo metodas. Pagrindinė SAW metodo idėja yra rasti kiekvienos iš alternatyvų svertinę sumą pagal pasirinktus požymius. Vienas iš šio metodo trūkumų yra tai, jog jis netoleruoja neigiamų reikšmių, todėl pirmuoju žingsniu reikia transformuoti reikšmes (Nurmalini & Rahim, 2017):

$$x_{ij} = r_{ij} + \left| \min_j r_{ij} \right| + 1, \quad (1)$$

čia x_{ij} – transformuota reikšmė; r_{ij} – kriterijų reikšmės.

Toliau taikant SAW metodą sprendimų matricos (X) elementai yra normalizuojami pagal tiesinio normalizavimo formules, kad duomenis būtų galima palyginti tarpusavyje (Nurmalini & Rahim, 2017).

$$\bar{r}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})}, \text{ jei kriterijus maksimizuojantis}; \quad (2)$$

$$\bar{r}_{ij} = \frac{\min(x_{ij})}{x_{ij}}, \text{ jei kriterijus minimizuojantis}, \quad (3)$$

čia \bar{r}_{ij} – normalizuota i -tojo kriterijaus reikšmė j -ajam objektui; $\max(x_{ij})$ – maksimali kriterijaus reikšmė; $\min(x_{ij})$ – minimali kriterijaus reikšmė.

Paskutiniame etape skaičiuojame svorius ir atliekame rangavimą. Didesnė reikšmė rodo, kad alternatyva yra geresnė (Nurmalini & Rahim, 2017).

$$S_j = \sum_{i=1}^m w_i \bar{r}_{ij}, \quad (4)$$

čia w_i – i -tojo kriterijaus svoris.

TOPSIS metodas

TOPSIS metodą pirmą kartą pasiūlė Hwang ir Yoon 1981 m., kad nustatytų geriausią alternatyvą iš esamų pasirinkimų. Pati metodo idėja yra gana paprasta. Hwang ir Yoon pasiūlė, kad alternatyvų reitingavimas būtų pagrįstas trumpiausiu euklidiniu atstumu nuo idealiojo teigiamo sprendinio ir ilgiausiu atstumu nuo idealiojo neigiamo sprendinio (Shih et al., 2007). Pagal šį metodą pirmiausia reikšmės turi būti normalizuotos bei padaugintos iš kriterijaus svorio. Toliau nustatomas teigiamas ir neigiamas idealusis sprendinys svertinei normalizuotai sprendimų matricai (Simanavičienė, 2011).

$$V^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+) = \left(\left(\max_i v_{ij} \mid j \in I \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in I \right) \right); \quad (5)$$

$$V^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) = \left(\left(\min_i v_{ij} \mid j \in I \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in I \right) \right), \quad (6)$$

čia V^+ ir V^- – teigiamas ir neigiamas idealusis sprendinys.

Kiekvienos alternatyvos atskyrimas nuo teigiamo idealiojo sprendinio ir nuo neigiamo idealiojo sprendinio gali būti išmatuotas naudojant n matmenų Euklido atstumą (Simanavičienė, 2011):

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2}, \quad (7)$$

čia S_i^- – atstumas tarp idealiojo teigiamo ir idealiojo neigiamo sprendinio.

Paskutiniame etape skaičiuojamas santykinis artumas idealiajam sprendiniui, kai indekso reikšmė yra tarp 0 ir 1 (Simanavičienė, 2011).

$$P_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+}, \quad (8)$$

čia P_i – santykinis artumas idealiajam teigiamam sprendiniui.

EDAS metodas

EDAS metodas yra nuotoliu pagrįstas algoritmas, kuris atskaitos tašku laiko vidutinį sprendinį. Taikant metodą yra naudojami PDA (teigiamas atstumas nuo vidurkio) ir NDA (neigiamas atstumas nuo vidurkio) atstumai nuo vidurkio, o ne atstumai nuo teigiamo ir neigiamo idealijų sprendinių kaip taikant TOPSIS metodą (Zhang, Wei, et al., 2019). Geriausia yra laikoma ta alternatyva, kurios PDA vertė yra didžiausia, o NDA – mažiausia. Pirmiausia pagal šį metodą reikia apskaičiuoti vidutinį sprendinį (Zhang, Wei, et al., 2019):

$$AV_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{n}, \quad (9)$$

čia n – alternatyvų skaičius; X_{ij} – kriterijus.

PDA ir NDA yra kiekvieno galimo sprendimo sklaidos matai, atsižvelgiant į vidutinį tašką. Alternatyva su didesniu PDA ir mažesniu NDA traktuojama kaip geresnė nei vidutinė. PDA ir NDA matricos apskaičiuojamos (Zhang, Wei, et al., 2019):

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AV_j))}{AV_j}, \text{ jei kriterijus maksimizuojantis}; \quad (10)$$

$$PDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - x_{ij}))}{AV_j}, \text{ jei kriterijus}$$

minimizuojantis; (11)

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (AV_j - x_{ij}))}{AV_j}, \text{ jei kriterijus}$$

maksimizuojantis; (12)

$$NDA_{ij} = \frac{\max(0, (x_{ij} - AV_j))}{AV_j}, \text{ jei kriterijus}$$

minimizuojantis; (13)

čia AV_j – vidutinė reikšmė.

Galima pastebėti, kad jei $PDA > 0$, tai $NDA = 0$; jei $NDA > 0$, tai $PDA = 0$. Toliau nustatoma visų alternatyvų PDA ir NDA svertinė suma (Zhang, Wei, et al., 2019):

$$SP_i = \sum_{j=1}^n w_j PDA_{ij}; \quad (14)$$

$$SN_i = \sum_{j=1}^n w_j NDA_{ij}, \quad (15)$$

čia w_j – kriterijaus svoris.

Toliau atliekamas SP ir SN reikšmių normalizavimas (Zhang, Wei et al., 2019):

$$NSP_i = \frac{SP_i}{\max(SP_i)}; \quad (16)$$

$$NSN_i = 1 - \frac{SN_i}{\max(SN_i)}. \quad (17)$$

Ranguojame alternatyvas remdamiesi tokia formule (Zhang, Wei, et al., 2019):

$$AS_i = \frac{1}{2}(NSP_i + NSN_i), \quad (18)$$

čia $0 \leq AS_i \leq 1$.

3 lentelė. Kriterijų ir alternatyvų matrica (sudaryta autorių)

	K1	K2	K3	K4	K5
BTC	322,38 mlrd.	951,39 mlrd.	1,90 %	75 %	19,268,700
ETH	144,98 mlrd.	288,87 mlrd.	7,23 %	76 %	122,373,866
BNB	40,18 mlrd.	26,72 mlrd.	22,40 %	66 %	157,903,502
XRP	17,63 mlrd.	42,57 mlrd.	7,71 %	93 %	50,796,877,639
DOGE	10,43 mlrd.	30,24 mlrd..	52,30 %	91 %	132,670,764,300
ADA	9,18 mlrd.	13,09 mlrd.	12,81 %	92 %	34,572,292,078
MATIC	7,11 mlrd.	14,79 mlrd.	39,46 %	75 %	8,734,317,475
DOT	5,36 mlrd.	12,09 mlrd.	6,62 %	92 %	1,159,169,283
TRX	4,95 mlrd.	91,85 mlrd.	5,85 %	85 %	91,849,469,863
SHIB	4,70 mlrd.	34,9 mlrd.	32,99 %	90 %	549,063,278,876,302
Kriterijaus tipas	max	max	max	min	min

Alternatyva, turinti didžiausią AS_i svorį, reitinguojama pirmoje vietoje.

Vienas iš pagrindinių žingsnių taikant daugiakriterijų metodus – kriterijaus svorio pasirinkimas. Šiame darbe daroma prielaida, kad visi kriterijai yra vienodai svarbūs ir kiekvieno kriterijaus svoris yra – 0,2.

3. Kriptovaliutų rangavimas

Šiame darbe analizuojamos 10 didžiausių kriptovaliutų pagal rinkos kapitalizaciją remiantis svetainės *CoinMarketCap* 2022-12-18 duomenimis. Kadangi, svetainės duomenimis, į pirmąjį dešimtuką patenka ir stabilios kriptovaliutos (angl. *stable coins*), dėl kainos stabilumo ir kitokios šių kriptovaliutų paskirties – *Tether* (USDT), *USD Coin* (USDC), *Binance USD* (BUSD) ir *Dai* (DAI) kriptovaliutos šiame darbe nėra analizuojamos. Duomenims „Prekybos apimtis“ imama 2022 m. vidutinė mėnesinė apimtis, o „Kriptovaliutos pasiūla“ – 2022 12 18 dienos duomenys. Kriterijaus „Maksimalus kainos sumažėjimas %“ duomenims buvo naudojamas analitinis įrankis *TradingView* (TradingView, 2022). Vidutinė mėnesinė praėjusių 2 metų (laikotarpis nuo 2020-12-01 iki 2022-11-30) grąža apskaičiuota pagal toliau pateiktą formulę remiantis svetainės *YahooFinance* istoriniais kiekvienos kriptovaliutos kainos duomenimis:

$$AV = \frac{\sum_{i=1}^n x_n}{n}; \quad (19)$$

$$x_n = \frac{b_n - a_n}{a_n} \times 100, \quad (20)$$

čia x_n – vidutinė n -tojo mėnesio grąža; a_n – n -tojo mėnesio pirmos dienos atidarymo kaina, o b_n – n -tojo mėnesio paskutinės dienos uždarymo kaina; n – mėnesių skaičius (Investopedia, 2022).

Svarbu paminėti, kad kriptovaliutos SHIB viso mėnesio duomenys yra prieinami tik nuo 2021-06-01, todėl analizėje naudojami ne 24 mėn., bet 18 mėn. duomenys.

Pirmiausia yra sudaroma kriterijų ir alternatyvų matrica, kuri pateikiama 3 lentelėje.

Remiantis daugiakriteriais vertinimo metodais – SAW, TOPSIS ir EDAS – atliekamas kriptovaliutų rangavimas. Gauti rezultatai pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Kriptovaliutų rangavimas taikant SAW, TOPSIS ir EDAS daugiakriterius metodus (sudaryta autorių)

	SAW	TOPSIS	EDAS
BTC	1	1	1
ETH	2	2	2
BNB	4	5	3
XRP	8	6	5
DOGE	3	3	4
ADA	7	7	8
MATIC	5	4	6
DOT	10	8	9
TRX	9	9	10
SHIB	6	10	7

Iš gautų rezultatų matome, kad iš 10 analizuojamų kriptovaliutų tinkamiausios investicijoms yra *Bitcoin* ir *Ethereum* – visų trijų taikytų daugiakriterių metodų rezultatai šiose dvejose pozicijose nesiskyrė – *Bitcoin* ranguojama pirmoje vietoje, *Ethereum* – antroje. *Bitcoin* kriptovaliuta yra didžiausia ir stabiliausia iš visų tirtų kriptovaliutų, todėl nenuostabu, kad ji ranguojama pirmoje vietoje. *Ethereum* kriptovaliuta užima mažesnę rinkos dalį nei *Bitcoin*, tačiau taip pat yra laikoma gan saugia ir patikima, todėl gali būti tinkamas variantas siekiant subalansuoti investicijų portfelį. Likusių kriptovaliutų rangavimo rezultatai pritaikius skirtingus metodus išsiskyrė. Remiantis SAW ir TOPSIS metodais 3 vietoje ranguojama *Doge* kriptovaliuta. Iš turimų duomenų, pateiktų 3 lentelėje, matome, kad ji pasižymėjo dideliu augimu pastaraisiais metais (K3), tačiau vertinant procentinį kainos sumažėjimą nuo piko, buvo praradusi 91 % vertės (K4). Tai reiškia, kad DOGE kriptovaliuta pasižymėjo labai dideliais svyravimais tiek į teigiamą, tiek į neigiamą pusę, todėl prieš svarstant ją įtraukti į portfelį būtų tikslinga atlikti ne tik kiekybinių duomenų analizę, tačiau atkreipti dėmesį ir į daugiau veiksnių, galinčių turėti įtakos jos kainai, pvz., rinkos sentimentai. TRX ir DOT vertinamos prasčiausiai ir ranguojamos atitinkamai 9 ir 10 vietose. Visų likusių kriptovaliutų rangavimo rezultatai, pritaikius skirtingus metodus, išsiskyrė. Pažymėtina, kad kriterijų, kurių rangai sutaptų su kažkuriuo iš pritaikytų metodų gautais rangais, nebuvo. Tai parodo, kad galutinius rangus nulėmė ne kažkuris vienas kriterijus, o visų kriterijų visuma. Vis dėlto iš gautų rezultatų nesunku išskirti 5 geriausiai įvertintas kriptovaliutas, t. y. BTC, ETH, DOGE, BNB ir MATIC.

Verta paminėti, kad tyrimo duomenys buvo apriboti gana siauru laikotarpiu, kadangi kriptovaliutų rinka yra sparčiai besivystanti ir dalis kriptovaliutų neturi ilgos kainų istorijos. Dėl rinkos dinamiškumo, priimant sprendimus dėl investicijų į kriptovaliutas, vertėtų tyrimą atlikti su naujausiais duomenimis. Gauti rezultatai gali būti pritaikyti vykdant kriptovaliutų, kurios bus įtrauktos į portfelį, atranką.

Išvados

Apžvelgus kriptovaliutų rinką, matyti, kad į kriptovaliutas yra žiūrima labiau iš investicinės perspektyvos, o ne kaip į atsiskaitymo priemonę. Prekyba kriptovaliutomis yra viena greičiausiai augančių rinkų pasaulyje. Ja aktyviai domisi tiek mažmeniniai, tiek instituciniai investuotojai. Instituciniai investuotojai kol kas yra apriboti nepakankamo reguliavimo, tačiau tikėtina, kad ateityje ši situacija pasikeis.

Atlikus mokslinių literatūros šaltinių analizę, pastebima, kad daugiakriteriai sprendimų priėmimo metodai gali būti pritaikomi siekiant atrinkti investuotojui patraukliausias kriptovaliutas. Autoriai taiko skirtingus kriterijus, pagal kuriuos yra ranguojamos kriptovaliutos, bei neretai, daugiau nei vieną, daugiakriterių sprendimų priėmimo metodą, siekdami gauti tikslesnius rezultatus.

Tyrimui atlikti buvo taikomi daugiakriteriai vertinimo metodai – SAW, TOPSIS ir EDAS. Taip pat tyrimui buvo pasirinktos 10 didžiausių kriptovaliutų pagal rinkos kapitalizaciją ir 5 svarbūs kriterijai, pagal kuriuos tiriamas kiekvienos kriptovaliutos patrauklumas – rinkos kapitalizacija, prekybos apimtis, vidutinė mėnesinė grąža, kainos sumažėjimas, kriptovaliutos pasiūla. Gauti rezultatai parodė, jog įvertinus kiekvieną iš kriterijų tinkamiausios kriptovaliutos įtraukti į portfelį yra *Bitcoin* ir *Ethereum*. Visų trijų taikytų metodų rezultatai sutapo. Šios dvi kriptovaliutos yra stabiliausios ir didžiausios iš visos tiriamos aibės. Nors *Bitcoin* kriptovaliuta nepasižymėjo ypač aukšta vidutine grąža per pastaruosius 2 metus, tačiau dėl savo dydžio ir užimamos pozicijos rinkoje yra viena saugiausių kriptovaliutų. *Ethereum* kriptovaliuta pasižymėjo aukštesne grąža ir geriausiu reitingu lyginant ją su likusiomis kriptovaliutomis (neįtraukiant *Bitcoin*). Abi šios kriptovaliutos vienu metu buvo praradusios atitinkamai 75 ir 76 % vertės nuo kainų aukštumų, tačiau tai gana maži nuosmukiai lyginant su kitomis kriptovaliutomis, o tai rodo atsparumą rinkos sąlygoms.

Formuojant investicijų portfelį, remiantis gautais rezultatais, 5 tinkamiausios kriptovaliutos yra BTC, ETH, DOGE, BNB ir MATIC. Žinoma, svarbu įvertinti ne tik kiekybinius kriterijus, tačiau ir fundamentalius veiksnius, pvz., kriptovaliutų blokų grandinės patikimumas ir pritaikymas ekosistemoje, kurie taip pat turi įtakos

kiekvienos kriptovaliutos kainai atskirai. Tolesniuose tyrimuose būtų galima nagrinėti platesnes kriptovaliutų ir kriterijų aibes, taip pat iš jų sudaryto portfelio optimizavimo sprendimus, pritaikant juos skirtingą toleranciją rizikai turintiems investuotojams.

Literatūra

- Ajello, A., Benzoni, L., Schwinn, M., Timmer, Y., & Vazquez-Grande, F. (2022). Monetary policy, inflation outlook, and recession probabilities. *Economic Perspectives*, 4, 1–14. <https://doi.org/10.21033/ep-2022-4>
- Aljinovic, Z., & Marasovic, B. (2021). Cryptocurrency portfolio selection – A multicriteria approach. *Challenges of Alternative Investments*.
- Aljinović, Z., Marasović, B., & Šestanović, T. (2021). Cryptocurrency portfolio selection – A multicriteria approach. *Mathematics* 2021, 9(14), 1677. <https://doi.org/10.3390/MATH9141677>
- Bender, J. T. (2022). State crypto regulation: Competing priorities shaping different outcomes. *Seattle Journal of Technology, Environmental & Innovation Law*, 12(2), 1. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4446994>
- Bianchi, D., Babiak, M., & Dickerson, A. (2022). Trading volume and liquidity provision in cryptocurrency markets. *Journal of Banking & Finance*, 142, 106547. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2022.106547>
- Bonaparte, Y. (2021). *On the portfolio choice of crypto asset class: Why the millennials own crypto?* <https://doi.org/10.2139/ssrn.3829275>
- Boungou, W., & Yatié, A. (2022). The impact of the Ukraine–Russia war on world stock market returns. *Economics Letters*, 215, 110516. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2022.110516>
- Česnulevičiūtė, R. (2015). *Vertybinių popierių optimalaus portfelio konstravimas ir vertinimas*. Mykolo Romerio Universitetas.
- Chen, J., Lin, D., & Wu, J. (2022). Do cryptocurrency exchanges fake trading volumes? An empirical analysis of wash trading based on data mining. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 586, 126405. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.126405>
- Churchman, C.W. & Ackoff, R.L. (1954) An approximate measure of value. *Operations Research Society of America*, 2, 172–187. <https://doi.org/10.1287/opre.2.2.172>
- CoinMarketCap. (2022). <https://coinmarketcap.com/>
- Crypto.com. (2022). *2022 Year Review and 2023 Year Ahead*.
- Delfabbro, P., King, D. L., & Williams, J. (2021). The psychology of cryptocurrency trading: Risk and protective factors. *Journal of Behavioral Addictions*, 10(2), 201–207. <https://doi.org/10.1556/2006.2021.00037>
- Ecer, F., Bökükaslan, A., & Zolfani, H. S. (2022). Evaluation of cryptocurrencies for investment decisions in the era of Industry 4.0: A Borda Count-Based Intuitionistic Fuzzy Set Extensions EDAS-MAIRCA-MARCOS Multi-Criteria Methodology. *Axioms*, 11(8), 404. <https://doi.org/10.3390/axioms11080404>
- Eltarabishi, F., Hassan, O., Alsyof, I., & Bettayeb, M. (2020, March). Multi-criteria decision making methods and their applications – A literature review. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (pp. 2654–2663). Dubai.
- Erol, I., Oztel, A., Searcy, C., & Medeni, T. (2023). Selecting the most suitable blockchain platform: A case study on the healthcare industry using a novel rough MCDM framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 186(A), 122132. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122132>
- Farshidi, S., Jansen, S., Espana, S., & Verkleij, J. (2020). Decision support for blockchain platform selection: Three industry case studies. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 67(4), 1109–1128. <https://doi.org/10.1109/TEM.2019.2956897>
- Fernández, M. Á. E., Alonso, S. L. N., Jorge-Vázquez, J., & Forradellas, R. F. R. (2021). Central banks' monetary policy in the face of the COVID-19 economic crisis: Monetary stimulus and the emergence of CBDCs. *Sustainability (Switzerland)*, 13(8), 4242. <https://doi.org/10.3390/su13084242>
- Filatovas, E., Marcozzi, M., Mostarda, L., & Paulavičius, R. (2022). A MCDM-based framework for blockchain consensus protocol selection. *Expert Systems with Applications*, 204, 117609. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117609>
- Ghorabae, M. K., Zavadskas, E. K., Olfat, L., & Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS). *Informatica (Netherlands)*, 26(3), 435–451. <https://doi.org/10.15388/Informatica.2015.57>
- Goldberg, L. R., & Mahmoud, O. (2017). Drawdown: From practice to theory and back again. *Mathematics and Financial Economics*, 11, 275–297. <https://doi.org/10.1007/s11579-016-0181-9>
- Gupta, S., Gupta, S., Mathew, M., & Sama, H. R. (2020). Prioritizing intentions behind investment in cryptocurrency: A fuzzy analytical framework. *Journal of Economic Studies*. <https://doi.org/10.1108/JES-06-2020-0285>
- Härdle, W. K., Harvey, C. R., & Reule, R. C. G. (2020). Understanding cryptocurrencies. *Journal of Financial Econometrics*, 18(2), 181–208. <https://doi.org/10.1093/jjfinec/nbz033>
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- Ilieva, G., Yankova, T., Radeva, I., & Popchev, I. (2021). Blockchain software selection as a fuzzy multi-criteria problem. *Computers*, 10(10), 120. <https://doi.org/10.3390/computers10100120>
- Investopedia. (2022). *How to calculate Return on Investment (ROI)*.
- Kabassi, K., Bekatoros, S., & Botonis, A. (2022). Checking consistency and comparing multi-criteria decision making methods in the evaluation of museums' websites. *Digital*, 2(4), 484–500. <https://doi.org/10.3390/digital2040026>
- Makarov, I., & Schoar, A. (2022). *Blockchain analysis of the bitcoin market* (NBER Working Paper No. 29396). <https://doi.org/10.3386/w29396>
- Maknickienė, N. ir Vaseris, G. (2022). *Investicijų pasirinkimas kriptovaliutų rinkoje. Iš 25-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminė konferencija „Ekonomika ir Vadyba“* (483–494 p.). Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas.
- Masiak, C., Block, J. H., Masiak, T., Neuenkirch, M., & Piepen, K. N. (n.d.). *The market cycles of ICOs, bitcoin, and ether*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3198694>

- Meynkhart, A. (2019). Fair market value of bitcoin: Halving effect. *Investment Management and Financial Innovations*, 16(4), 72–85. [https://doi.org/10.21511/imfi.16\(4\).2019.07](https://doi.org/10.21511/imfi.16(4).2019.07)
- Mokni, K., & Ajmi, A. N. (2021). Cryptocurrencies vs. US dollar: Evidence from causality in quantiles analysis. *Economic Analysis and Policy*, 69, 238–252. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2020.12.011>
- Patil, P. S. (2019). *Attitude of the millennial generation towards cryptocurrency* [Masters Thesis]. Dublin Business School.
- Ozkan, B., Kaya, I., Erdogan, M., & Karasan, A. (2019, July). Evaluating blockchain risks by using a MCDM methodology based on Pythagorean fuzzy sets. In *Advances in Intelligent Systems and Computing: vol. 1029. Intelligent and fuzzy techniques in big data analytics and decision making* (pp. 935–943). *Proceedings of the INFUS 2019 Conference*. Istanbul, Turkey. Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23756-1_111
- Poteiko, V. ir Martinkutė-Kaulienė, R. (2022). *Daugiakriterinių metodų taikymas investicinio portfelio formavimui*. Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas.
- Nurmalini, & Rahim, R. (2017). Study approach of simple additive weighting for decision support system. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology (IJSRST)*, 3(3), 541–544. <https://doi.org/10.31227/osf.io/8sjvt>
- Sandi, W., & Oktavia, T. (2022). Analyzing the influence of cryptocurrency on the switching intention of Gen Z and millennials to use cryptocurrency as an investment asset. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 100(21), 6331–6345.
- Selmi, R., Bouoiyour, J., & Wohar, M. E. (2022). “Digital Gold” and geopolitics. *Research in International Business and Finance*, 59, 101512. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2021.101512>
- Shih, H. S., Shyur, H. J., & Lee, E. S. (2007). An extension of TOPSIS for group decision making. *Mathematical and Computer Modelling*, 45(7–8), 801–813. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2006.03.023>
- Simanavičienė, R. (2011). *Kiekybinių daugiakriterių sprendimo priėmimo metodų jautrumo analizė*. Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas. <https://doi.org/10.20334/1973-M>
- Sun, W., Dedahanov, A. T., Shin, H. Y., & Li, W. P. (2021). Factors affecting institutional investors to add crypto-currency to asset portfolios. *The North American Journal of Economics and Finance*, 58, 101499. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2021.101499>
- TradingView. (2022). <https://www.tradingview.com>
- Tredinnick, L. (2019). Cryptocurrencies and the blockchain. *Business Information Review*, 36(1), 39–44. <https://doi.org/10.1177/0266382119836314>
- Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/b11032>
- Wang, W. Y., Yang, Y. C., & Lin, C. Y. (2022). Integrating the BWM and TOPSIS algorithm to evaluate the optimal token exchanges platform in Taiwan. *Technological and Economic Development of Economy*, 28(2), 358–380. <https://doi.org/10.3846/tede.2021.15935>
- Zaher, M., & ElGhitany, N. E.-K. (2021). Blockchain communication platform selection in IoT healthcare industry using MARCOS. *International Journal of Wireless and Ad Hoc Communication*, 2(1), 49–57. <https://doi.org/10.54216/IJWAC.020104>
- Zhang, S., Gao, H., Wei, G., Wei, Y., & Wei, C. (2019). Evaluation based on distance from average solution method for multiple criteria group decision making under picture 2-tuple linguistic environment. *Mathematics*, 7(3), 243. <https://doi.org/10.3390/math7030243>
- Zhang, S., Wei, G., Gao, H., Wei, C., & Wei, Y. (2019). EDAS method for multiple criteria group decision making with picture fuzzy information and its application to green suppliers selections. *Technological and Economic Development of Economy*, 25(6), 1123–1138. <https://doi.org/10.3846/tede.2019.10714>

THE APPLICATIONS OF MCDM METHODS FOR THE SELECTION OF CRYPTOCURRENCIES IN PORTFOLIO FORMATION

Greta MARKUTĖ, Grigorij ŽILINSKIJ

Abstract. At the end of 2022 cryptocurrency market capitalization was around 800 billion US dollars. As the market rapidly grows and matures, interest in investing in cryptocurrencies increased not only among private investors, but among banks, pension funds and other institutions as well. Investing in cryptocurrencies is associated with high potential returns and a very high risk. In the cryptocurrency market (same as in the stock market) investors face a huge problem of investments’ selection when forming a portfolio. The main goal of this scientific article is to apply multi-criteria decision making (MCDM) methods in order to solve this problem. We analyze 10 largest cryptocurrencies by market capitalization, taking into account 5 selected criteria. MCDM methods make it possible to comprehensively evaluate and select the most attractive cryptocurrencies. 3 MCDM methods were used – SAW, TOPSIS and EDAS. The results have shown that most suitable cryptocurrencies to include in investment portfolio are Bitcoin and Ethereum. The method presented in this study can be applied in practice when selecting cryptocurrencies.

Keywords: cryptocurrencies, MCDM methods, SAW, TOPSIS, EDAS, investment portfolio.