

VILNIAUS UNIVERSITETAS
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ SISTEMŲ STUDIJŲ PROGRAMA

**Likvidavimo algoritmo tobulinimas perviršinio
užstato skolinimo protokoluose**

**Improving liquidation algorithms in over-collateralized lending
protocols**

Kursinis darbas

Atliko: 4 kurso 4 grupės studentas
Vismantas Stonkus (parašas)

Darbo vadovas: Prof. dr. Remigijus Paulavičius (parašas)

Vilnius – 2025

TURINYS

ĮVADAS	2
1. KAS YRA ARBITRAŽAS	3
2. LIKVIDACIJOS	5
2.1. Paskolų platformos	5
2.1.1. Veiklos principas	5
2.2. Kriptovaliutų paskolų platformos	5
2.2.1. Kodėl žmonės skolinasi per kriptovaliutų paskolų platformas?	5
2.2.2. Likvidacijos kriptovaliutų pasaulyje	6
2.2.3. Protokolai	6
2.2.4. Venus platforma	7
2.3. Arbitražo potencialas	7
3. SKIRTINGOS LIKVIDACIJŲ STRATEGIJOS	9
3.1. Naivus algoritmas	10
3.2. Esami tyrimai	11
3.3. Pasiūlyta <i>Optimal Fixed Spread Liquidation Strategy</i> modifikacija	11
4. TYRIMAS	13
4.1. Pelningumo skaičiavimas	13
4.1.1. Trūkumas	13
4.2. Duomenys	14
4.3. Strategijų realizacija	14
4.4. Istorinių likvidacijų analizės pavyzdys	14
4.4.1. Atkartojimas	15
4.4.2. Strategijų lyginimas	16
4.5. Strategijų vertinimas remiantis dideliais duomenų rinkiniais	16
4.5.1. Išskirtiniai atvejai	17
4.5.2. Atmestos likvidacijos	18
REZULTATAI IR IŠVADOS	20
LITERATŪRA	21

Įvadas

Kriptovaliutos, kaip sparčiai auganti finansinė sritis, yra populiarus objektas spekuliantams, kurie siekia pasipelnyti iš šių valiutų vertės svyravimų. Nepaisant didelių pelningumo galimybių, investavimas į kriptovaliutas neatsiejamas nuo rizikos, kad valiutos vertė gali smarkiai nukristi, dėl ko investuotojas gali prarasti dalį ar net visą pradinę investiciją. Siekiant maksimalaus pelno ir minimalios rizikos yra taikomi automatiniai arbitražo algoritmai. Šie algoritmai analizuoja kriptovaliutų rinkos svyravimus ir automatiškai vykdo sandorius, leidžiančius pasipelnyti iš mažiausių kainų skirtumų tarp skirtingų biržų.

Šiame darbe dėmesys yra sutelktas į likvidacijos procesą ir jo integravimą į esamus automatinio arbitražo algoritmus. Darbo tikslas – analizuoti ir palyginti skirtingas likvidavimo strategijas paviršinio užstato skolinimo protokoluose, siekiant sukurti ir optimizuoti algoritmą, kuris maksimaliai padidintų likvidatoriaus pelną, efektyviai išnaudojant rinkos svyravimus ir automatizuoto arbitražo galimybes.

Tam, kad darbo tikslas būtų įgyvendintas buvo išsikelti uždaviniai:

1. Apžvelgti esamus paviršinio užstato skolinimo protokolus bei jų veikimo principus.
2. Išnagrinėti likvidavimo proceso mechanizmą.
3. Sukurti ar pamodifikuoti algoritmą, skirtą efektyviam likvidavimo strategijų vykdymui automatizuoto arbitražo sąlygomis.
4. Palyginti sukurtą algoritmą su egzistuojančiais sprendimais, įvertinant pelningumą.

Darbo struktūra yra sudaryta iš kelių pagrindinių skyrių. Pirmajame skyriuje pristatoma, kas yra arbitražas, siekiant suteikti teorinį pagrindą. Antrajame skyriuje aptariamos likvidacijos, jų svarba ir galimybės kriptovaliutų pasaulyje. Trečiajame skyriuje analizuojamos skirtingos likvidacijų strategijos, o ketvirtajame skyriuje pateikiami tyrimo rezultatai, įskaitant pelningumo skaičiavimus, strategijų realizacijos pavyzdžius ir duomenų analizę. Darbas užbaigiamas rezultatais ir išvadomis, kurios apibendrina pagrindines darbo išvagas.

1. Kas yra arbitražas

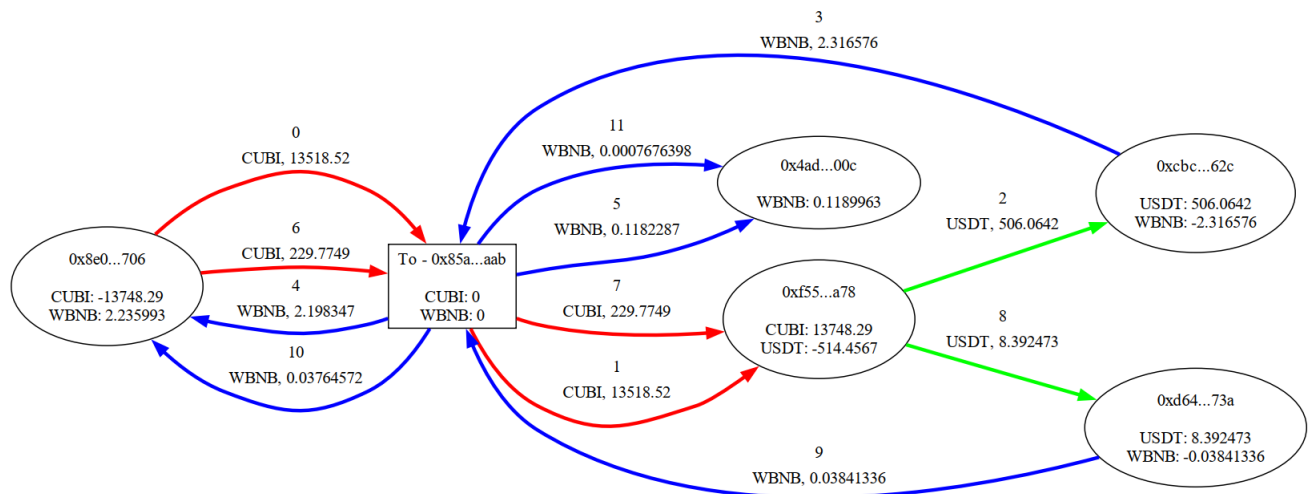
Arbitražas yra finansinė strategija, grindžiama ekonominių skirtumų išnaudojimu tarp dviejų ar daugiau rinkų, siekiant gauti pelną be jokios rizikos ar su minimalia rizika. Paprastaiariant, tai yra praktika, kai investuotojai perka tam tikrus finansinius instrumentus, tokius kaip prekės ar valiutos pigesnėje rinkoje, ir tuoj pat pardavinėja juos brangesnėje rinkoje, gaudami pelną iš šio kainų skirtumo.

Vienas esminių arbitražo principų yra reliatyvumas – investuotojai renkasi referencinę valiutą, kurios vertę jie laiko stabilia ir dirba siekdami padidinti šios valiutos kiekį. Pavyzdžiui, jei arbitražininkas laiko eurą stabilia valiuta, jis perka ir parduoda kitas valiutas arba kitokį turtą, tikėdamasis gauti kuo didesnę pelną eurai.

Paprasčiausias arbitražas susideda iš kainų skirtumų tarp dviejų rinkų. Tai pasiekama konvertuojant stabilų turto vienetą į kitą valiutą pagal kursą P_1 ir vėliau konvertuojant šią valiutą atgal į pradinį stabilų turto vienetą kursu P_2 , kur $P_1 \cdot P_2 > 1$. Šią pagrindinę idėją galima plėtoti ir modifikuoti įvairiais būdais:

- įtraukti tarpinius konvertavimo žingsnius, sudarant ilgesnę operacijų grandinę, siekiant išnaudoti kainų skirtumus biržose, kuriose nėra tiesioginio konvertavimo kelio iš ar į stabiliąją valiutą;
- pradėti arbitražą ne vien tik su viena stabilia valiuta, bet su keliomis. Taip galima efektyviau išnaudoti turimą kapitalą, nes skirtingos stabilų valiutų pozicijos gali suteikti daugiau lankstumo ir galimybių reaguoti į kainų skirtumus įvairiose biržose;
- išskaidyti valiutos konvertavimą į kitą per kelias biržas, siekiant išvengti didelio kainų svyravimo vienoje biržoje;
- konvertuoti vieną turto vienetą į kelias skirtingas valiutas vienoje tranzakcijoje dėl tam tikrų platformų galimybių;
- pasiskolinti kapitalą iš biržos su sąlyga, kad skola bus gražinta per arbitražo procesą, taip panaikinant reikalavimą turėti pradinį kapitalą.

Efektyviausia arbitražo ypatumus pateikti pasinaudojant grafais. Pavyzdžiui, grafe, kur mazgai reprezentuoja savininkų sąskaitas (tradicinių valiutų atveju) arba piniginės adresus (kriptovaliutų atveju), o kryptinės briaunos – valiutų ar kriptovaliutų persiuntimus tarp jų, aiškiai matoma turtų judėjimo dinamika ir galimos arbitražo pelno galimybės.



1 pav. Arbitražo vizualizacija: lėšų pervedimai ir galutinis pelnas – 0,11899 WBNB

1 pav. pateikta arbitražo vizualizacija kriptovaliutų atveju. Matome 12 pavedimų tarp skirtingų piniginių adresų (numeracija prasideda nuo 0). Šiuo atveju adresas 0x85a...aab yra pradinis kontrakto adresas, kuris buvo iškvieistas tranzakcijoje. Iš viso tranzakcijoje dalyvauja 4 rinkos, kuriose galima konvertuoti valiutų poras:

- 0x8e0...706 – CUBI - WBNB
- 0xf55...a78 – CUBI - USDT
- 0xcbc...62c – USDT - WBNB
- 0xd64...73a – USDT - WBNB

Adresas 0x4ad...00c šiuo atveju yra tik pelno piniginė, kurioje tranzakcijos pabaigoje atsiranda papildomi 0,11899 WBNB valiutos.

Kiekviename mazge taip pat pažymėtos valiutos ir jų kiekiai, nurodantys galutinį valiutos skirtumą po tranzakcijos. Pavyzdžiui, rinkoje 0x8e0...706 valiuta WBNB -> CUBI buvo konvertuota du kartus, kur iš viso į rinką įdėta 2,235993 WBNB, o išimta 13748,29 CUBI.

Tranzakciją galima suskirstyti į dvi dalis su pavedimais 0-5 ir 6-11. Pirmuosiuose penkiuose pavedimuose (0-4) atliekamas ratas: pradžioje trumpam pasiskolinama CUBI, tada ji iškeičiama į USDT, o po to – į WBNB. Trečiuoju pavedimu gaunama daugiau valiutos, nei reikia skolai grąžinti ketvirtuoju pavedimu. Todėl perviršis lieka kaip pelnas, kuris penktuoju pavedimu persiunčiamas į pelno piniginę. Panašiai vyksta ir su pavedimais 6-11, tačiau antrojoje dalyje naudojama kita USDT-WBNB rinka, o apskritai keičiamų valiutos kiekių dydžiai yra mažesni.

2. Likvidacijos

2.1. Paskolų platformos

Paskolų platformos – tai sistemos, kuriose vartotojai gali skolintis ar skolinti pinigus kitiems vartotojams. Tradicinėse bankinėse sistemose bankas veikia kaip tarpininkas tarp skolinčio ir skolininko. Paskolų platformose šis tarpininkavimo procesas dažnai yra automatizuotas.

2.1.1. Veiklos principas

- **Skolintojai:** asmenys ar įmonės, turintys perteklinių lėšų, kurias jie norėtų investuoti, kad gautų grąžą kaip palūkanas.
- **Skolininkai:** asmenys ar įmonės, kuriems reikia lėšų įvairiems tikslams – pradėti verslą, finansuoti projektą, pirkti prekę ir pan.

Skolintojai įneša savo lėšas į platformą, o skolininkai pateikia prašymus dėl paskolų. Platforma tada suderina šiuos du suinteresuotus šalių poreikius. Priklausomai nuo platformos ir paskolos tipo, gali būti reikalaujama, kad skolininkai užstatytų tam tikrą turto dalį kaip garantiją.

2.2. Kripto valiutų paskolų platformos

Ypač populiarius šiuolaikinis paskolų platformų variantas yra kripto valiutų paskolų platformos. Šiose platformose operacijos vykdomos naudojant kripto valiutas ar kito tipo kripto turto užstatą. Šios platformos veikia naudojant tarpininko paslaugas, kurios automatizuoja skolinimo ir grąžinimo procesą per išmanuosius kontraktus (angl. *smart contracts*).

Viena iš svarbiausių šių platformų savybių yra tai, kad skolininkai privalo pateikti užstatą, kuris viršija paimtos paskolos vertę. Kripto valiutų pasaulyje tokia perviršinio užstato sistema yra būtina, nes leidimas skolintis daugiau nei pateikto užstato vertė atvertų kelią reikšmingam išnaudojimui. Jei būtų galima pateikti mažai užstato ir gauti didelę paskolą, tai sukeltų didelę riziką platformai, nes skolininkai galėtų nesąžiningai išnaudoti šią galimybę, o skolintojai patirtų didžiulius nuostolius. Todėl perviršinio užstato reikalavimas yra esminis saugumo mechanizmas, užtikrinantis stabilumą ir patikimumą šiose finansinėse sistemose.

Dar viena kripto valiutų paskolų platformų ypatybė – tai valiutų vertės nustatymo procesas, kuris yra atliekamas naudojant orakulus. Orakulai yra išoriniai informacijos tiekėjai, kurie pateikia duomenų srautą naudojantis išmaniaisiais kontraktais. Šie kontraktai yra periodiškai atnaujinami per privilegijuotas *blockchain* tranzakcijas. Šios tranzakcijos nustato tam tikros valiutos vertę, užtikrindamos sklandų ir patikimą platformos veikimą.

2.2.1. Kodėl žmonės skolinasi per kripto valiutų paskolų platformas?

1. **Kapitalo prieinamumas neparduodant turto:** skolinantis per kripto valiutų platformas, galima gauti lėšų neparduodant turimų kripto valiutų, taip išvengiant galimų mokesčių ir toliau dalyvaujant rinkos augime [Pil24].

2. **Greitas ir paprastas procesas:** kriptovaliutų paskolos dažnai suteikiamos greičiau ir su mažiau biurokratijos nei tradicinės bankų paskolos, nes nereikalaujama kredito istorijos patikrinimo [Oke24].
3. **Trumpasis pardavimas:** dar angliškai vadinamas *shorting*. Kriptovaliutų skolinimo platformos leidžia naudotojams skolintis kriptovaliutas, kurias jie vėliau parduoda dabartine rinkos kaina tikėdamiesi kainų kritimo ateityje. Kainai nukritus yra nuperkamas tas pats kiekis valiutos, kiek buvo pasiskolinta, ir iš karto gražinama skola. Šis metodas leidžia investuotojams uždirbti iš rinkos kainų svyravimų net ir krintant kainoms. Pavyzdžiui, investuotojas gali užstatyti savo ETH, pasiskolinti BTC, parduoti BTC už \$30000, tariant, kad einamuoju metu yra tokia kaina, ir vėliau nusipirkti už \$25000, tariant, kad po kažkiek laiko kaina nukrito, gražindamas skolą ir pasilikdamas \$5000 pelno. [Aca20].

2.2.2. Likvidacijos kriptovaliutų pasaulyje

Likvidacija yra viena iš galimų operacijų paskolų platformose. Ji yra būtina saugumo priemonė, skirta užtikrinti, kad skolininkas laikytųsi savo įsipareigojimų ir kad skolintos lėšos būtų gražintos skoliniojui.

Kai užstato vertė krinta žemiau tam tikros minimalios nustatytos ribos (angl. *liquidation threshold*), pagal protokolą bet kam leidžiama atlikti likvidaciją. Per likvidacijos procesą užstatas (angl. *collateral*) yra parduodamas, dažnai su tam tikra nuolaida, mainais į valiutą, kurią skolininkas pasiskolino. [Ven24]

2.2.3. Protokoliai

Yra daugybė paskolų protokolų, veikiančių įvairiuose *blockchain* tinkluose, kurie suteikia vartotojams galimybę skolintis ir skolinti decentralizuotai. 1 lentelėje pateikiami keli populiariausi šių protokolų pavyzdžiai.

- **Blockchain'ai** – išvardijami *blockchain* tinklai, kuriuose veikia atitinkamas protokolas. Paskolų mechanizmas tarp tinklų gali skirtis dėl tinklo subtilybių, tačiau pagrindiniai procesai išlieka tokie pat tam pačiam protokolui.
- **Bendra užrakinta vertė (Total Value Locked)** – atspindi platformos bendrą turto vertę įdėtą naudotojų. Tai svarbus rodiklis, leidžiantis įvertinti protokolo populiarumą ir pasitikėjimą. Paskolų platformų kontekste, ši vertė nurodo bendrą užstato sumą, iš kurios kaupiamos palūkanos už paskolintą turtą.

Iš lentelės matome, kad Aave yra vienas iš populiariausių ir labiausiai paplitusių paskolų protokolų, veikiantis daugybėje *blockchain* tinklų ir turintis didžiausią bendrą užrakintą vertę – \$22,112 milijardų. Šis protokolas išsiskiria savo plačia integracija ir stipriu vartotojų pasitikėjimu.

1 lentelė. Paskolų protokolų palyginimas [Def]

Pavadinimas	Blockchain'ai	Bendra užrakinta vertė (Total Value Locked)
Aave	Ethereum, Arbitrum, Avalanche, Polygon, Base, Optimism, Scroll, BSC, Gnosis, Metis, ZKsync Era, Fantom, Harmony	\$22,112B
JustLend	Tron	\$7,282B
Spark	Ethereum, Gnosis	\$5,391B
Compound Finance	Ethereum, Arbitrum, Base, Optimism, Polygon, Scroll	\$3,051B
Morpho	Ethereum, Base	\$2,930B
Kamino Lend	Solana	\$2,126B
Venus	BSC, ZKsync Era, Arbitrum, opBNB, Ethereum	\$1,938B
Avalon Labs	CORE, Bitlayer, Taiko, BSC, Merlin, BOB, Mode, BSquared, ZetaChain, Kaia, Arbitrum, Ethereum, Base, IoTeX, Scroll, Mantle, Zircuity	\$1,134B
Fluid Lending	Ethereum, Arbitrum, Base	\$622,38M
Benqi Lending	Avalanche	\$511,67M
NAVI Lending	Sui	\$476,31M
Suilend	Sui	\$468,55M
Marginfi Lending	Solana	\$453,06M

2.2.4. Venus platforma

Šiame darbe toliau yra analizuojamas *Venus* protokolas ir jo istorinės likvidacijos. Nors ši platforma nėra didžiausia, jos likvidavimo mechanizmai yra panašūs į daugelio kitų kriptovaliutų paskolų platformų, todėl darbo rezultatai gali būti laikomi reprezentatyviais platesnei šios srities ekosistemai. *Venus* protokolas pasirinktas dėl asmeninio susipažinimo su jo veikimu ir ilgametės patirties pagrindiniame jo *blockchain* tinkle – *Binance Smart Chain (BSC)*.

2.3. Arbitražo potencialas

Iš esmės, likvidaciją galima laikyti tam tikra rinka, kuri suteikia galimybę konvertuoti vieną valiutą į kitą. Likvidacija savaime yra pelninga likviduotojams, nes pasiskolinta valiuta yra iškeičiama į užstatą santykiu 1:1 pagal orakulo nustatytas vertes. Be to, likvidacijos metu likviduotojui skiriamas bonusas iš skolininko užstato kaip iniciatyva atlikti likvidaciją (*Venus* atveju bonusas yra 10% nuo gražintos sumos). Tačiau ši procedūra yra nepalanki skolininkui, nes priverstinai praranda dalį arba visą savo užstatą. Skolintojams likvidacija gali būti naudinga, nes užtikrina, kad paskola

bus grąžinta, net jei skolininkas nesugeba tai padaryti savanoriškai. Todėl likvidacija yra naudinga likviduotojams ir skolintojams, tačiau nepalanki skolininkams.

Jeigu valiuta, kuria reikia grąžinti skolą, yra nestabili iš likvidatoriaus perspektyvos, galima konvertuoti turimą kapitalą iš stabilios valiutos į skolinamąją valiutą. Panašiai, užstato valiutą galima konvertuoti į stabilų piniginių vienetą per tam tikras valiutų keitimo operacijas kitose rinkose. Tokiu atveju, arbitražo sistema tampa itin vertinga, nes ji gali automatizuoti valiutos konversijos procesą ir rasti efektyviausią būdą konvertuoti iš valiutos A į valiutą B, tuo pačiu užtikrinant, kad likvidatorius gaus maksimalų pelną.

Taigi, jeigu turime algoritmą, kuris sugeba aptikti arbitražo galimybes iš tam tikros rinkų aibės, šią aibę galima papildyti likvidacijos rinkomis, leidžiant likvidatoriams bandyti pasipelninti iš likvidacijų su minimalia ar net be rizikos. Tačiau likvidatoriai gali susidurti su rizikomis – pavyzdžiui, būti aplenkiamiems kitų likvidatorių arba mokėti mokesčius už bandymus atlikti likvidaciją be sėkmingo likvidavimo dėl klaidos ar būsenos pasikeitimo, kuri nebeleistų atlikti valiutų konvertavimo. Šios rizikos yra aktualios ir paprastesniems arbitražo scenarijams tarp rinkų.

3. Skirtingos likvidacijų strategijos

Likvidacijai vykdyti būtina atsižvelgti į kintamuosius, nusakančius jos eigą:

- **Pozicija (angl. *position*):** rinkinys kelių užstatų ir paskolų, suskirstytų pagal valiutą, kuriuos valdo vienas naudotojas.
- **Likvidacijos paskata:** priedas arba nuolaida, kurią likvidatorius gali gauti, likviduodamas užstatą. Šis skirtumas skatina likvidatorius veikti nedelsiant, kai paskola peržengia likvidavimo slenkstį. *Venus* atveju tai yra 10% gražinamos valiutos vertės.
- **Likvidavimo slenkstis (angl. *liquidation threshold, LT*):** procentinė dalis, kuria užstato vertė įtraukiama į skolinimosi pajėgumą. Kiekviena valiuta turi atskirą vertę (paprastai nuo 60% iki 90%).
- **Uždarymo riba (angl. *close factor, CF*):** maksimali skolos dalis, kuri leidžiama būti gražinta vienos likvidacijos metu. Vertė yra bendra visam protokolui, mūsų atveju 50%.
- **Skolinimosi pajėgumas (angl. *borrowing capacity, BC*):** apibrėžia bendrą vertę, kurią skolininkas gali pasiskolinti, atsižvelgiant į jo užstato sumą.

$$BC = \sum_i (\text{Užstato vertė}_i \times LT_i)$$

- **Sveikumo koeficientas (angl. *health factor, HF*):** matuoja pozicijos būklę, apibrėžiamą kaip skolinimosi pajėgumo ir esamų skolų santykį. Jeigu sveikumo koeficientas mažesnis negu 1, skolininkas tampa likviduojamas.

$$HF = \frac{BC}{\sum_i \text{Skolos vertė}_i}$$

Skolininkui tapus likviduojamu, yra daugybė pasirinkimų, kaip vykdyti jo pozicijos likvidavimą. Likvidavimo proceso metu būtina pasirinkti konkrečią užstato ir paskolos valiutų porą, kurioje paskolos valiuta yra gražinama, o užstato valiuta paaimama iš skolininko. Taip pat, nustatomas gražintinos sumos dydis. Svarbu pabrėžti, jog atlikus nedidelę likvidaciją, skolininkas gali išlikti likviduojamas, tai reiškia, kad likvidavimo procesas gali būti vykdomas kelis kartus.

Įdomu yra tai, kad likvidavimo metu protokolas leidžia likviduoti didesnę valiutos kiekį, nei reikalinga skolininko pozicijai subalansuoti. Tarkime:

- skolininkas yra pateikęs \$2000 vertės BTC (bitkoino) valiutą kaip užstatą;
- BTC valiutos likvidavimo slenkstis (*LT*) yra 80%;
- skolininkas yra pasiskolinęs 1650 USDT valiutos, kuri atitinka JAV dolerį.

Toliau 2 lentelėje matyti, kaip šios vertės kinta po skirtingo dydžio likvidacijų. Pirmuoju variantu grąžinama \$417, po kurios skolininko sveikumo koeficientas pakyla virš 1, todėl skolininko pozicija nustoja būti likviduojama. Antruoju variantu grąžinama maksimali suma, kiek leidžiama, kai uždarymo riba lygi 50%. Šiuo atveju pozicija taip pat tampa „sveika“, tačiau skolininkas patiria didesnę nuostolį, o likvidatorius – didesnę pelną.

Būsena	Užstato vertė	Skolos vertė	BC	HF	Pelnas likvidatoriui / nuostolis skolininkui
Pradinė	2000	1650	1600	0,97	–
Po \$417 likvidacijos	1541,3	1233	1233,04	1,00003	41,7
Po \$825 likvidacijos	1092,5	825	874	1,06	82,5

2 lentelė. Pavyzdinė užstato, skolos ir sveikumo koeficiento kaita po likvidacijos

Likvidatoriams yra naudinga grąžinti kuo didesnę skolą už skolininką, nes už grąžintą paskolos valiutą atlyginama tokios pačios vertės užstatu, be to, papildomai suteikiama 10% užstato kaip paskata. Likvidatorių procesą riboja du pagrindiniai dalykai: skolininko užstato dydis ir maksimali uždarymo riba.

Likvidavimo proceso kintamųjų įvairovė lemia sudėtingą optimizavimo problemą, kuri reikalauja ne tik išsamaus problemos modelio, bet ir kūrybingų algoritminių sprendimų.

3.1. Naivus algoritmas

Paprasta likvidavimo algoritmo idėja gali būti tokia: pasirenkama paskolos valiuta, kuriai skolininkas turi didžiausią įsipareigojimą, ir užstato valiuta, kurios kiekis yra didžiausias. Tada stengiamasi grąžinti pusę paskolos arba tiek, kad būtų išnaudotas visas skolininko užstatas parinktai valiutai. Kadangi praktikoje dažniau pasiekiamą uždarymo riba, o ne skolininko užstato ribojimas, šiai strategijai suteikiame konkretnį pavadinimą – **iki uždarymo ribos**.

Pavyzdžiui, 3 lentelėje pateikti trys scenarijai su skolininko pozicijomis, kuriose, tarkime, visi skolininkai yra likviduojami.

Pirmame scenarijuje renkamės ETH valiutą kaip grąžinamą, nes taip galima grąžinti didžiausią vertę (\$500). Grąžinant šią sumą iš skolininko užstato galima paimti \$550 vertės turto. Kadangi BNB yra tik \$500, to nepakanka, todėl renkamės valiutą su didžiausiu užstatu – BTC.

Antrame scenarijuje vėl renkamės USDT kaip grąžinamą valiutą, o ETH – kaip užstatą, nes jo vertė didžiausia. Tiesa, šiuo atveju pakaktų ir AVAX užstato, nes grąžindami didžiausią leistiną sumą (\$1000) galime paimti \$1100 vertės turto. Jei AVAX valiutą būtų lengviau parduoti rinkoje, likvidatorius galėtų rinktis ją.

Trečiame scenarijuje iš kelių užstato variantų renkamės ETH, nes jo vertė didžiausia, o grąžinama valiuta bus USDC (taip pat dėl didžiausios sumos). Iš tikrųjų bet kuri grąžinama valiuta leistų padengti tokią sumą, jog būtų galima paimti visą ETH užstatą, nes tereikia grąžinti $\frac{\$500}{1,1} \approx \$454,54$ skolos.

Scenarijus	Skolų pozicija	Užstatų pozicija
1	ETH: \$1000	BTC: \$2000 BNB: \$500
	DAI: \$500	
	USDC: \$300	
2	USDT: \$2000	ETH: \$3000
	DAI: \$400	AVAX: \$1500
3		ETH: \$500
	USDC: \$1500	SOL: \$400
	WBTC: \$800	AVAX: \$400
		BNB: \$400

3 lentelė. Pavyzdiniai skolininko pozicijų duomenys su įvairiomis skolomis ir užstatais

3.2. Esami tyrimai

Šioje srityje jau egzistuoja mokslinių darbų, siūlančių algoritmus likvidavimo problemoms spręsti. Pavyzdžiui, [QZG⁺21] pristato algoritmą *Optimal Fixed Spread Liquidation Strategy*, kuris padalina likvidavimo procesą į dvi mažesnes likvidacijas, kurias kartu sudėjus, leidžia likviduoti didesnę kiekį nei būtų galima padaryti tik su vienu dideliu likvidacijos iškvietimu. Pirmoji likvidacija yra maksimaliai didelė, taip, kad po jos skolininkas vis dar lieka likviduojamas, reiškia, jog sveikumo koeficientas (*HF*) yra kiek įmanoma mažesnis, bet nemažesnis nei 1. Antroji likvidacija užbaigia procesą, likviduojant maksimalų kiekį, kurį leidžia protokolo taisyklės, vienu likvidacijos iškvietimu, kas paprastai reiškia 50% likusios paskolos dydžio.

Venus protokolui *Optimal Fixed Spread Liquidation Strategy* algoritmas nėra tinkamas, nes grąžinant pagrindinio tinklo valiutą (šiuo atveju BNB) pasikeičia kursas, pagal kurį apgaubtas užstatas (angl. *wrapped*) konvertuojamas į pagrindinę valiutą. Kurso perskaičiavimas įvyksta prieš pat nustatant skolininko poziciją. Dėl to didelės grąžinamos sumos gali reikšmingai paveikti skolininko likvidumo būklę, sumažindamos likvidacijos ribą arba netgi visiškai sustabdydamos likvidavimo procesą. Pagrindinė problema su algoritmu yra ta, kad pirmoji likvidacija, nors formaliai palieka skolininką likviduojamą, tam tikrais atvejais leidžia likviduoti tik labai mažas sumas antrojoje likvidacijoje.

Tam tikrais atvejais, kai skolininko įsiskolinimas yra itin didelis, gali būti vykdomos daugiau nei dvi likvidacijos, kiekvieną kartą likviduojant iki uždarymo ribos. Tačiau minėtas algoritmas apsiriboja tik dviem likvidacijų iškvietimais.

3.3. Pasiūlyta *Optimal Fixed Spread Liquidation Strategy* modifikacija

Siūlome koreguoti *Optimal Fixed Spread Liquidation Strategy*. Visų pirma, neapsiribosime dviem likvidacijos iškvietimais. Proceso pradžioje sukame ciklą, kurio metu kiekvieno iteracijos pradžioje apskaičiuojame $B_{\text{uždarymo}}$ ir $B_{\text{užstato}}$, kur:

- $B_{\text{uždarymo}}$ – maksimalus grąžinamos valiutos kiekis, leidžiamas likviduoti vienu kartu pagal uždarymo ribos taisyklę.

- $B_{užstato}$ – grąžinamos valiutos kiekis, reikalingas visiškai atsiimti skolininko užstatą pasirinkta valiuta.

Jei $B_{užstato} \leq B_{uždarymo}$, vadinasi, kita likvidacija bus paskutinė, ir grąžiname $B_{užstato}$ pasiskolintos valiutos kiekį. Šios logikos privalumas yra tas, kad jei pirmosios likvidacijos dydis yra ribojamas užstato trūkumo, procesas gali būti baigtas per vieną likvidaciją. Tai leidžia maksimaliai efektyviai išnaudoti galimybes, sumažinant nereikalingų skaičiavimų, už kuriuos reikia sumokėti pagrindinę valiutą, kiekį.

Kitu atveju ($B_{užstato} > B_{uždarymo}$), ieškome didžiausio B_i tokio, kad po likvidacijos vis dar būtų galima likviduoti bent $B_{užstato} - B_i$. Jei rastas $B_i > 0$, atlikus likvidaciją grįžtame į ciklo pradžią. Jei $B_i = 0$, reiškia, bet koks likvidacijos dydis pavers skolininką nelikviduojamu. Tokiu atveju likviduojama $B_{užstato}$ ir į ciklo pradžią nebegrįžtama.

Galima įsivaizduoti, kad 3.2 skyriuje aprašytas algoritmas taip pat ieško didžiausio B_i pirmajai likvidacijai, užtikrinančio, jog po jos skolininkas išliks likviduojamas. Tačiau mūsų algoritmas reikalauja ne tik, kad skolininkas išliktų likviduojamas, bet ir kad būtų galima likviduoti reikšmingą kiekį valiutos.

Tais atvejais, kai skolininkas yra stipriai įsiskolinęs, siūlomas algoritmas atliks seką likvidacijų, kurių kiekviena bus dvigubai mažesnė už ankstesnę. Tai tęsis tol, kol bus grąžinta visa skola arba išnaudotas visas užstatas. Dėl šios savybės šią modifikuotą strategiją vadiname **pilno išsekvojimo** strategija (angl. *drain strategy*).

4. Tyrimas

Tikslas – palyginti 3 skyriuje aprašytas likvidavimo strategijas pagal jų pelningumą likvidatoriaus atžvilgiu.

Darbe nagrinėsime istorines *Venus* protokolo *Core* baseino likvidacijas. Taip pat, naudosime tas pačias grąžinamos ir užstato valiutas, kokios buvo naudotos istoriniuose pavyzdžiuose. Tokiu būdu bus lengviau palyginti strategijas tarpusavyje, nes valiutos ir jų likvidumas kitose rinkose išliks tokie pat, kur jų skirtumas smarkiai galėtų paveikti realų likvidacijos pelną.

Strategijos:

1. Atkartoti (angl. *repeat*), kai atkartojame įvykusią likvidaciją su savo kontroliuojama pinigine, kad įsitikintume, jog mūsų neriboja nenumatytos priežastys.
2. Iki uždarymo ribos (angl. *up to close factor*), kai grąžiname lygiai pusę skolininko paskolos – tai yra daugiausia, kiek galima grąžinti vienu funkcijos iškvietimu, arba grąžiname tiek, kad paimtume visą skolininko užstato valiutą.
3. Pilnas išsekvojimas (angl. *drain*), vykdomas taip, kad iš pradžių atliekamos likvidacijos, kurios palieka skolininką toliau likviduojamą, o galiausiai atliekama *iki uždarymo ribos* likvidacija.

4.1. Pelningumo skaičiavimas

Algoritmo pelningumo vertinime pasitelkiami orakulo duomenys likvidacijos metu. Pelne taip pat atsižvelgiama į tranzakcijos mokesčius, susijusius su likvidacijos vykdymu.

Pelno skaičiavimo formulė:

$$\text{Pelnas} = C \cdot P_c - B \cdot P_b - Gas \cdot P_{bnb}$$

- B (angl. *borrowed*) – pasiskolintas valiutos kiekis, kurį grąžiname likviduojant;
- C (angl. *collateral*) – valiutos kiekis, kuris grąžinamas likvidatoriui iš skolininko sąskaitos;
- Gas (lietuviškai *kuras*) – mokestis už tranzakcijos įvykdymą pagrindine valiuta - BNB;
- P_b – pasiskolintos valiutos kaina;
- P_c – užstato valiutos kaina;
- P_{bnb} – BNB valiutos kaina.

4.1.1. Trūkumas

Nors ši pelningumo formulė turi stiprią koreliaciją su tikru pelnu, tai ne visada reiškia didžiausią arbitražo uždarbį. Kai orakulo kainos smarkiai skiriasi nuo kitų rinkų, gali kilti situacija, kur būtų pelningiau likviduoti kitą skolininko užstato valiutą. Net jei pagal orakulą ta valiuta atrodo mažiau vertinga, konvertuojant ją kitose rinkose, galimas didesnis arbitražo pelnas.

4.2. Duomenys

Tyrimui atlikti buvo surinkti visi *Venus* protokolo likvidacijų duomenys iš BSC tinklo iki 43,683,481 bloko (2024 m. lapkričio 3 d., 10:40:23 UTC). Iš viso buvo aptikta 63982 likvidacijos. Duomenų rinkimui buvo panaudoti *quicknode.com* archyviniai serveriai.

Pirmoji likvidacija 2020-11-26

4.3. Strategijų realizacija

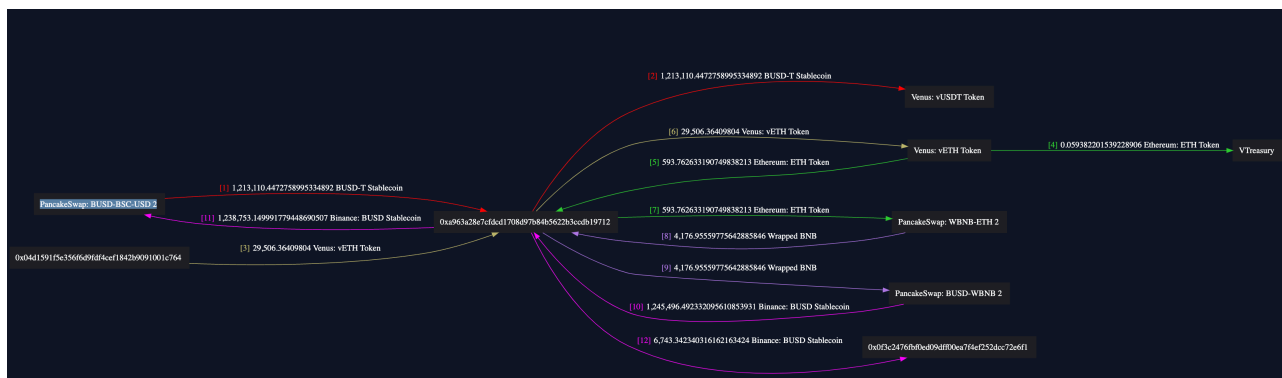
Naudojant *Forge* (blokų grandinėms skirtą testavimo karkasą, paremtą Ethereum), sukurta analizės aplinka, leidžianti simuliuoti pasirinktą likvidacijos strategiją konkrečiame bloke ir transakcijos pozicijoje.

Pačios strategijos buvo rašomos *Solidity* programavimo kalba. Dėmesys sutelkiamas tik į likvidacijos dalį, todėl į analizę neįtraukiami pasiskolintos valiutos gavimas ir užstato valiutos pardavimas. Siekiant, kad likvidacijos būtų sėkmingos, simuliacijos pradžioje grąžinama valiuta fiktyviai priskiriama kontroliuojamai piniginei.

Grąžinamos sumos dydžiui nustatyti parašytos funkcijos, kurios iš blokų grandinės paima duomenis apie skolininką. Rezultatams patikrinti šios grąžinamos sumos papildomai testuojamos su padidinta verte, kad būtų galima įsitikinti, jog didesnė likvidacijos suma lemia nepageidaujamų situacijų (pvz., nebegalima toliau likviduoti). Nors grąžinamų sumų skaičiavimai ir papildomos simuliacijos naudoja blokų grandinės skaičiavimo kuro vienetų (angl. *gas*), jie nėra įtraukiami į likvidacijos mokesčius, nes likvidacijos reikšmės galima apskaičiuoti kitoje (ne blokų grandinės) aplinkoje ir tik tuomet įkelti jas į likvidaciją vykdančias transakcijas.

4.4. Istorinių likvidacijų analizės pavyzdys

Šiame skyriuje nagrinėsime likvidaciją tranzakcijoje
0x8d286fa28b0eb4d4d4e1a8cdf078190f207921f5d1a5f198de56f5995e2c606.



2 pav. Tranzakcijos valiutų pavidimai [blo]

1. **Trumpalaikė paskola.** (1) pavedimu likvidatorius iš valiutų keityklos gauna 1213110 BUSD-T, su sąlyga, kad toje pačioje transakcijoje grąžins kitą valiutą – BUSD. Tai yra pirmasis žingsnis akimirksnio apsikeitimo (angl. *flash swap*).

2. **Likvidacijos veiksmai.** (2) ir (3) pavedimais likvidatorius persiunčia visą prieš tai gautą BUSD-T į vUSDT baseiną, taip dalinai grąžindamas 0x04d... skolininko skolą. Mainais iš skolininko sąskaitos gauna vETH (Venus protokolo apgaubtas ETH).
3. **vETH konvertavimas į įprastą ETH.** (5) ir (6) pavedimais likvidatorius išsikeičia turimus vETH į paprastą ETH, iš viso gaudamas 593,76 ETH.
4. **ETH konvertavimas į BUSD.** (7)–(10) pavedimais likvidatorius keičia ETH į BUSD tam, kad galėtų grąžinti trumpalaikę paskolą pirmajai keityklai. Po dviejų keitimų gauta 1245496 BUSD.
5. **Skolos grąžinimas keityklai.** Kadangi BUSD-T buvo gautas pirmajame pavedime, (11) pavedimu grąžina 1238753 BUSD (maždaug 99,45% iš (10) gautos sumos) pirmajai keityklai.
6. **Pelnas likvidatoriui.** Po visų veiksmų likvidatoriaus piniginėje lieka 6743 BUSD, kurie (12-uju pavedimu) pervedami į pelno piniginę. Kadangi BUSD prilygsta JAV doleriui, galutinės pajamos yra 6743 JAV doleriai. Sumokėjus 204 JAV dolerių tranzakcijos mokestį, likvidatoriui lieka 6539 JAV dolerių pelnas.

Jeigu likvidatoriui nereikėtų mokėti valiutų konvertavimo mokesčių, jam užtektų grąžinti apie 90,91% (likvidacija grąžina 110% įdėtos vertės) gauto užstato po likvidacijos. Tačiau realybėje egzistuoja tiek konvertavimo mokesčiai, tiek rinkos kainos gali skirtis nuo orakulo duomenų, todėl likvidatoriui teko grąžinti apie 99,45% galutinės gautos valiutos.

4.4.1. Atkartojimas

Mokestis už vieną kuro vienetą	0,000000316441261625 BNB
Likvidacija	
Grąžinta suma	1213110,4472758995334892 BUSD-T
Užstato gauta <i>wrapped</i> formatu	29506,36409804 vETH
Kuro sunaudota dėl grąžinamos sumos patvirtinimo	24263
Kuro sunaudota likvidacijos iškvietimui	816562
Grąžinamos valiutos kaina	1,00148308 \$/BUSD-T
Užstato valiutos kaina	2250,50651698 \$/ETH
Užstato išsigryninimas (<i>redeem</i>)	
<i>Gas</i> sunaudota išsigryninimui	141054
Užstato gauta	593,762633190749838213 ETH
BNB kaina	298,22744081 \$/BNB
Pajamos	\$121357,088416942287
Pelnas	\$121264,427054685937748

4 lentelė. Reikšmės atkartojus likvidaciją

4 lentelėje pateikti skaičiai gauti pakartojus likvidaciją. Matome, kad pajamos yra 121 tūkstantis, kur 2 pav. pajamos yra tiktais 6,7 tūkstančiais. Šis skirtumas atsiranda iš to, kad orakulo kaina nesutampa su tuo ką gavo likvidatorius atliekant konvertavimus. Paimkime net pirmą konvertavimą po likvidacijos - ETH į BNB. Pakal orakulo kainas likvidatorius turėjo gauti 4480,7 BNB, tačiau gavo 4176,95 (6,78% mažiau). Tai gali būti tiek dėl orakulo ETH pervertinimo, o gal ETH-BNB keitykla tuo metu turėjo prastą kainą ir/arba mažą likvidumą. Pažymime, kad mūsų tyrimui šis skirtumas nėra svarbus, nes koncentruojamės tik į likvidacijos dalies optimizaciją ir proporciškai lyginame gautą užstatą.

4.4.2. Strategijų lyginimas

Toliau lyginame skirtingas strategijas. Iš 5 lentelės duomenų matome, jog originali likvidacija (\$1,21M) buvo kur kas mažesnė nei kokia galėjo ji būti (\$75,49M) su strategija *iki uždarymo ribos*. Imant tiesiog orakulo valiutų vertes buvo galima pelnyti \$7,54M, tačiau tai reikalautų valiutų konvertavimų dideliais kiekiais. Prekiaujant tokias sumas reikėtų labai likvidžių rinkų ir galimai reikėtų skaidyti konvertavimus per kelias rinkas, kad išvengti didelių kainų svyravimų. Originalus likvidatorius jau su \$1,21M vertės konvertavimais patyrė nepalankias kainas. Apie kitų rinkų likvidumą pakomentuoti negalime, nes tai reikalautų papildomos istorinės tų metinių rinkų analizės.

Vis dėlto, buvo galima likviduoti dar didesnę kiekį nei \$75,49M pasinaudojus pasiūlyta *pilno išsikvojimo* strategija. 5 lentelėje šiai strategijai yra bendroji eilutė ir papildomai išskaidytos dvi dalinės likvidacijos. Pirmosios likvidacijos dydis \$36,27M ir po jos skolininko pozicijos sveikumo koeficientas turėtų būti truputi didesnis nei 1. Antrosios likvidacijos dydis \$46,24M vertės, tai reiškia, kad iš viso buvo grąžinta \$82,56M skolos, todėl ir atlygis už tai proporcingai didesnis. Atidžiai žiūrint į mokesčių už kurą, galima pastebėti, kad 2 likvidacijų kuro suma lygi 1465384, tai yra mažiau nurodyto 1630707 prie bendros eilutės. Į bendrą yra papildomai pridėtas *Venus* apgaubtos užstato valiutos konvertavimas, kurio užtenka iškviesti vieną kartą, pirmiausia atlikus abi likvidacijas, nes likvidacijos užstatas atsiimamas apgaubtu formatu.

Strategija	Gražinimas	Paimtas užstatas	Mokestis už kurą	Pelnas
Atkartoti	1,21M (\$1,21M)	594 (\$1,34M)	981 879 (\$92,66)	\$121,26K
Iki uždarymo ribos	75,37M (\$75,49M)	36,89K (\$83,03M)	981 888 (\$92,66)	\$7,54M
Pilnas išsikvojimas (bendras)	82,44M (\$82,56M)	40,35K (\$90,81M)	1 630 707 (\$153,89)	\$8,25M
Pilnas išsikvojimas (1 likvidacija)	36,22M (\$36,27M)	17,73K (\$39,89M)	816 591 (\$77,06)	\$3,99M
Pilnas išsikvojimas (2 likvidacija)	46,23M (\$46,24M)	22,63K (\$50,92M)	648 793 (\$61,23)	\$4,26M

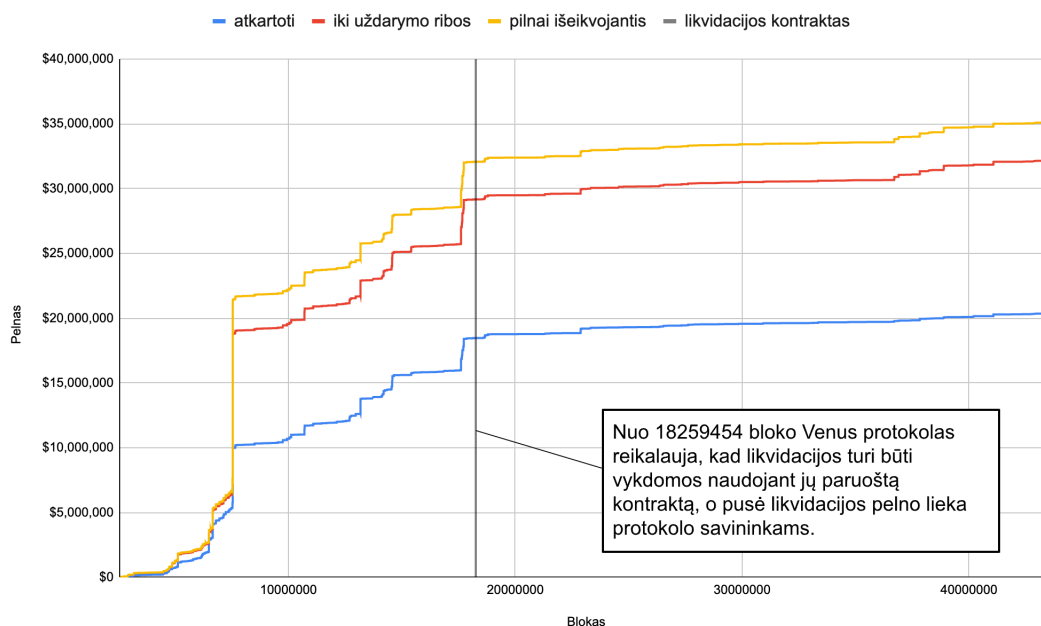
5 lentelė. Skirtingų likvidavimo strategijų rezultatai

4.5. Strategijų vertinimas remiantis dideliais duomenų rinkiniais

Skirtingoms strategijoms lyginti patogu naudoti kaupiamojo pelno kreivę. Galime analizuoti kiekvieną įvykusių likvidaciją, apskaičiuoti pelną pagal skirtingas strategijas ir laikui bėgant sumuoti pelnus. Tačiau, kaip matome iš 5 lentelės, istorijoje ne visi likvidatoriai maksimaliai išnaudojo leidžiamą likvidacijų potencialą, o didelės galimybės dažnai yra suskaidomos į daug mažesnių likvidacijų. Dėl šios priežasties būtų klaidinga sumuoti pelnus kiekvienai įvykusiai likvidacijai, nes pelnai pagal geresnes strategijas būtų skaičiuojami kelis kartus. Problema kyla iš to, kad likvidacija turi įtakos kitoms su ja susijusioms likvidacijoms ir joms gali pakenkti jeigu pamodifikuotume ankstesnę likvidaciją. Dažniausias ryšys tarp skirtingų likvidacijų – tas pats skolininkas. Kiti galimi susiejimai: viena likvidacija išnaudoja visą likusį grynųjų likutį iš *Venus* valiutos baseino, todėl kiti likvidatoriai netenka galimybės gauti grynųjų; likvidatoriai išnaudoja rinkos likvidumą keisdami valiutas.

Norėdami ir tokioje situacijoje pavaizduoti kaupiamąjį pelno kreivę, laikysimės kelių apribojimų: analizuosime tik vieną kiekvieno skolininko likvidaciją istorijoje, pasirinkdami pirmąją, kurios metu buvo galima visiškai išgryninti visą gautą užstatą visomis trimis strategijomis. Laikantis šių apribojimų gauname

10892 įvykių iš 63982 analizuojamų (17,02%). Taigi atlikę kiekvienai istorinei likvidacijai analizę kaip 5 lentelėje ir susumavę pelną per laiką (kas atitinka ėjimą per blokus) gauname rezultatą 3 pav.



3 pav. Kaupiamasis pelnas pagal strategijas, atsižvelgiant tik į pirmąjį kiekvieno skolininko likvidaciją

6 lentelė. Strategijų pelnai

Strategija	Pelnas (\$)
Atkartoti	20 355 860,62
Iki uždarymo ribos	32 149 135,99
Pilnas išseikvojimas	35 089 532,28

Rezultatai 6 lentelėje rodo, kad laikantis nurodytų ribojimų *iki uždarymo ribos* strategija generavo 58% didesnę pelną nei *atkartoti*, o *pilnas išseikvojimas* strategija – net 72% daugiau. Pastebėtina, kad reikšminga dalis prarasto pelno yra susijusi su tuo, jog likvidatoriai dažnai negrąžina maksimalios leistinos sumos. Be to, yra maždaug 9% potencialas padidinti pelną naudojant efektyvesnę likvidacijos algoritmą.

Galime atkreipti dėmesį, kad 3 pav. visų strategijų pelno kreivės yra panašios, jei atmesime kelis išskirtinius staigius šuolius tam tikruose laiko momentuose. Tai reiškia, kad strategijų pelno skirtumą smarkiai veikia keletas įvykių.

Nuo 18259454 [Gov22] bloko *Venus* protokolas pakeitė likvidavimo mechanizmą. Po pakeitimo visos likvidacijos privalo būti vykdomos per *Venus* protokolo parengtą kontraktą, kuris pasilieka pusę likvidacijos pelno, 5% nuo likviduojamos sumos, ir kitus 5% atiduoda likvidatoriui. Po šio pakeitimo pastebimas reikšmingas pelno lėtėjimas, tačiau tai taip pat gali būti susiję su tuo, kad laikui bėgant į grafiką patenka vis mažiau likvidacijų, nes analizuojame tik po vieną likvidaciją vienam skolininkui.

4.5.1. Išskirtiniai atvejai

Blokų ruože 7544850–7546511 įvyko trys didelės likvidacijos, kurių metu pastebėtas reikšmingas skirtumas tarp strategijų:

- A. 0x0cd0fc0cdd5b572d71cd039cc522d20dfcc5c8c0772173b484c91194401fe89b – blokas 7544850
- B. 0x718cf2813f3124f576a64a69429ec543ea6b14ca53d557772d61e72a6c256f3e – blokas 7546281
- C. 0x3b04a03ed356108c7297e6b438d70df7383f10d39d0511603b576b635d6bff9f – blokas 7546511

7 lentelė. Strategijų pelno palyginimas (skliaustuose likvidacijų iškvietimų skaičius)

Strategija	A	B	C
Atkartoti	\$2 015 683	\$190 227	\$15 074
Iki uždarymo ribos	\$2 015 683	\$6 630 951	\$1 060 317
Pilnas išsikvojimas	\$4 031 270 (50)	\$6 630 951 (1)	\$1 083 910 (2)

Įdomu yra tai, kad visi trys nagrinėjami atvejai išsiskiria savo duomenimis dėl skirtingų priežasčių:

- A. Pirmuoju atveju originalioje tranzakcijoje likvidatorius grąžino maksimalią leistiną sumą per vieną likvidacijos funkcijos iškvietimą. Dėl šios priežasties *atkartoti* ir *iki uždarymo ribos* strategijų pelnai buvo identiški. Šiame scenarijuje skolininkas buvo reikšmingai įsiskolinęs, todėl likvidavimo procesas galėjo būti tęsiamas net 49 kartus, kiekvieną kartą grąžinant dvigubai mažesnę sumą nei ankstesnėje iteracijoje. Galutinis pelnas, pasiektas vykdant šį procesą, buvo beveik du kartus didesnis už *iki uždarymo ribos* strategijos pelną.
- B. Antruoju atveju likvidatorius pasirinko likviduoti žymiai mažesnę sumą, nei leido protokolo uždarymo riba. Dėl to *iki uždarymo ribos* strategijos pelnas buvo maždaug 35 kartus didesnis nei *atkartoti* strategijos. Šiame kontekste likvidatorių ribojo ne uždarymo riba, o skolininko turimo užstato kiekis. Todėl *Pilnas išsikvojimas* strategija šioje situacijoje reikalavo tik vieno likvidacijos iškvietimo, kad būtų maksimaliai išnaudota galimybė.
- C. Trečiuoju atveju, kaip ir antrajame, originalus likvidatorius grąžino mažesnę sumą nei leido protokolo nustatyta uždarymo riba. Tačiau šiuo atveju likvidatorių ribojo būtent uždarymo riba. Siekiant optimizuoti pelną, buvo atliktos dvi atskiros likvidacijos, kurios leido papildomai sugeneruoti \$23593 virš *iki uždarymo ribos* strategijos pelno.

4.5.2. Atmestos likvidacijos

Atkartojimo strategija pasirodė esanti veiksminga, nes buvo pastebėta, kad ne visas likvidacijas pavyktų atkartoti bet kuriam likvidatoriui. Analizės metu buvo atmestos likvidacijos, kurios turėjo privilegijuotą statusą ir galimybę jas vykdyti turėjo tik tam tikri adresai, galėję iškviešti likvidavimo funkciją:

1. Likvidacijos, kurios toje pačioje tranzakcijoje atliko platformos konfigūracijos pakeitimus, leidžiančius likviduoti tam tikrus skolininkus:
 - 0x7c97317afe5911e704bd684e8b3fe472d7b8703b54321ab564be2bbeacdb0f5f – VIP-36 Refactor SXP & XVS Collateral Factor and Interest Rate Model Change
 - 0xc81fa724698490d096b04cccb080195517f4df5cfa56121cbee895d05ad0de53 – VIP-37 Refactor SXP & XVS Collateral Factor and Reward Speed
 - 0xb18543cd79c90ef2ca1e463aaf3760e6e4e731b7fa64a86e6f2538de392d49df – VIP-223 Risk Parameters Adjustments (BUSD)

2. *BNB bridge exploiter* likvidacijos, kur tik platformos savininkai sau leido likviduoti:

- Skolininko adresas: 0x489a8756c18c0b8b24ec2a2b9ff3d4d447f79bec
- Viena iš 14 likvidacijų -
0xc4bd0beaedfa6985c7976d6c1dd681ec1e4fa805067572e95beae32869c88cd7

Taip pat, nebuvo analizuojamos likvidacijos, kurios išnaudojo *Venus* protokolo mechanizmo klaidą, susijusią su paskatų kaupimu naudojantis protokolu. Naudotojai, skolindami arba skolindamiesi protokole, kaupė atlygį, kurį galėjo atsiimti iškviesdami funkciją **claimVenus**. Įdomu tai, kad šią funkciją galėjo iškviešti bet kuris adresas kito naudotojo vardu. Tai suteikė galimybę išnaudotojams apsimti adresus, kurie buvo stipriai įsiskolinę ir sukaukę nemažą atlygį, atsiimti sukauptą atlygį jų vardu ir tuoj pat inicijuoti jų likvidaciją. Vienas tokio išnaudojimo pavyzdys užfiksuotas tranzakcijoje: 0x801001726f7c0c2434a8ea1680213ebfd5201094087c94d7dac44b7860555f1c. Šis pažeidžiamumas vėliau buvo pašalintas, įdiegiant apribojimą, kad *claimVenus* funkcija negali būti sėkmingai iškviečiama, jei paskyros sveikatingumo rodiklis yra neigiamas [Ven].

Rezultatai ir išvados

Šiame darbe analizuojama ir nagrinėjama likvidacijos kompleksiško problematika. Siekiant ją spręsti, iškeliamas tikslas, o šiam tikslui įgyvendinti pasiūloma esamo algoritmo modifikacija, siekiant didesnio pelno iš likvidatoriaus perspektyvos.

Darbe pristatomas egzistuojantis likvidavimo algoritmas – *Optimal Fixed Spread Liquidation Strategy*. Taip pat siūloma ir nagrinėjama jo modifikuota versija, pavadinta *pilno išieikvojimo* strategija. Modifikacijos pritaikytos *Venus* paskolų platformai, kuri pasižymi specifinėmis ypatybėmis (pavyzdžiui, apgaubtų valiutų elgsenos niuansais). Be to *pilno išieikvojimo* strategija yra pranašesnė tuo, kad efektyviai išnaudoja galimybes, kai skolininkas yra stipriai įsiskolinęs, ir taip pat optimizuoja likvidacijos procesą, kai likvidatorius yra ribojamas skolininko užstato kiekiu.

Surinkus duomenis nuo 2020-11-26 iki 2024-11-03, *Venus* platformoje buvo palygintos trys likvidavimo strategijos: *atkartoti, iki uždarymo ribos* ir *pilnas išieikvojimas*. Istoriniai duomenys atskleidė, kad ne visi likvidatoriai maksimaliai išnaudojo leidžiamą likvidacijos potencialą. *Iki uždarymo ribos* strategija, nors ir paprasta, generavo 58% didesnę pelną lyginant su istorinių likvidacijų rezultatais (atsižvelgiant tik į 4.5 skyriuje lygintas likvidacijas). Pastebėta, kad *pilnas išieikvojimas*, nors ir reikalauja daugiau likvidacijos iškvietimų, gali dar labiau padidinti pelną, ypač tais atvejais, kai skolininko įsiskolinimas yra didelis ir jį galima likviduoti pakartotinai. Naudojant *pilną išieikvojimą*, galima gauti maždaug 9% daugiau pelno nei taikant strategiją *iki uždarymo ribos*, o iš viso net iki 72% daugiau, jei likvidavimo procesas parenkamas optimaliai. Tačiau svarbu pabrėžti, kad reikšminga dalis papildomo pelno atsiranda iš palyginti nedidelio skaičiaus įvykių, kurie gali būti atsitiktiniai ir nebūtinai reprezentatyvūs būsimoms likvidacijoms ar kitoms istorinėms likvidacijoms kituose paskolų protokoluose bei/arba *blockchain* tinkluose.

Ateityje planuojama tęsti šį darbą eksperimentuojant su užstato ir skolos grąžinimo valiutų pakeitimu į kitas. Pavyzdžiui, jeigu yra galimybė pasirinkti užstato valiutą su mažesniu likvidavimo slenkščiu, būtų mažiau paveiktas skolininko sveikumo koeficientas, o tai leistų likviduoti daugiau turto.

Literatūra

- [Aca20] Binance Academy. What is short selling in financial markets?, 2020. URL: <https://www.binance.com/en/square/post/511206>.
- [blo] blocksec. URL: <https://app.blocksec.com/explorer/tx/bsc/0x8d286fa28b0eb4d4d4e1a8cdaf078190f207921f5d1a5f198de56f5995e2c606>.
- [Def] DefiLlama. Lending TVL Rankings. URL: <https://defillama.com/protocols/Lending>. Tikrinta 2024-12-08.
- [Gov22] Venus Governance. VIP-64 Enforce new liquidation interface, 2022. URL: <https://app.venus.io/#/governance/proposal/64?chainId=56>.
- [Oke24] Nnamdi Okeke. Kaip gauti ir naudoti Binance kriptovaliutų paskolas, 2024. URL: <https://targettrend.com/lt/binance-crypto-loans/>.
- [Pil24] Artūras Pileckis. Kas yra kriptovaliutų skolinimas (Lending) ir kaip jis veikia?, 2024. URL: <https://kriptovaliutos.io/kas-yra-kriptovaliutu-skolinimas-lending-ir-kaip-jis-veikia/>.
- [QZG⁺21] Kaihua Qin, Liyi Zhou, Pablo Gamito, Philipp Jovanovic ir Arthur Gervais. An Empirical Study of DeFi Liquidations: Incentives, Risks, and Instabilities, 2021. URL: <https://arxiv.org/abs/2106.06389>.
- [Ven] Venus. URL: <https://app.venus.io/%5C#/governance/proposal/73?chainId=56>.
- [Ven24] Venus. Liquidations, 2024. URL: <https://docs-v4.venus.io/guides/liquidation>.